Astronomia per tutti

Volume 11

Neofiti: Osserviamo i pianeti

Costellazioni: Cani da Caccia e Cefeo

Astrofotografia: Imaging deep-sky, tecnica

Ricerca amatoriale: La spettroscopia

Astrofisica: Le ere dell'Universo

Astronautica: L'esplorazione dei pianeti remoti

Attualità: La materia oscura

Domande e risposte

Daniele Gasparri

Daniele Gasparri

Astronomia per tutti: volume 11

Tutti i miei libri (oltre 20) sono raggiungibili a questo link

Clicca qui per vedere gli altri volumi di Astronomia per tutti

Nel prossimo volume

In copertina: La costellazione di Orione ripresa con una Canon 450D modificata e obiettivo da 18 mm f4. Somma di 11 immagini da 6 minuti ciascuna, con una piccola montatura equatoriale EQ2 motorizzata solo in ascensione retta. La fotografia astronomica a grande campo non richiede un sistema di guida, mentre quando decidiamo di utilizzare il telescopio le cose cambiano, come scopriremo nelle prossime pagine.

Presentazione

Il penultimo volume di Astronomia per tutti è ricco di spunti interessanti.

Nella categoria neofiti, con il nostro nuovo telescopio, andremo a osservare i pianeti, il Sole e la Luna. Difficile immaginare quanti piccoli dettagli e sorprese andremo a scovare, nascosti nei piccoli dischi planetari.

Nello spazio dedicato alla fotografia astronomica vedremo le basi strumentali e tecniche della fotografia a lunga esposizione attraverso il telescopio. Cercheremo di divincolarci tra autoguida, messa a fuoco e frame di calibrazione, e con pazienza e determinazione riusciremo presto a ottenere ottime immagini deep-sky.

Nella categoria dedicata alla ricerca amatoriale affronteremo una materia poco conosciuta, eppure molto affascinante: la spettroscopia. Attraverso lo studio spettroscopico determiniamo la temperatura delle stelle e la loro composizione chimica. Possiamo capire quanto ruotano velocemente loro e le galassie di cui sono ospiti, ed è proprio attraverso la spettroscopia che Edwin Hubble, negli anni venti del ventesimo secolo, scoprì l'espansione dell'Universo.

Nella parte più teorica, ci getteremo con entusiasmo verso il remoto passato dell'Universo, arrivando fino a un soffio dopo il Big Bang per poi procedere in avanti e assistere ai grandi cambiamenti che si sono verificati nei primi istanti di vita del giovane Universo. Sarà un viaggio molto affascinante.

Ci rilasseremo un po' andando a esplorare i pianeti esterni del Sistema Solare: Saturno, Urano, Nettuno e Plutone, di cui,

speriamo, avremo più da dire quando nel 2015 la sonda New Horizons arriverà per prima nelle sue vicinanze.

Infine, partiremo di nuovo per le sterminate lande in apparenza vuote dell'Universo. Parleremo della materia oscura, qualcosa che non fa dormire gli astronomi da alcuni decenni. Nessuno la vede, ma tutti gli oggetti dell'Universo la sentono. Senza di essa non esisterebbero nemmeno le galassie. Costituisce il 90% della materia dell'Universo, ben 9 volte più abbondante di quella luminosa che compone stelle, nebulose e ammassi stellari. Eppure ancora nessuno riesce a venir a capo di questo enorme mistero. Di fatto, non abbiamo la più pallida idea di come sia fatta una grandissima parte del Cosmo.

Daniele Gasparri
Gennaio 2014

Neofiti

In questa sezione, che verrà estratta dai miei libri: "Primo incontro con il cielo stellato" e "Che spettacolo, ho visto Saturno!", affronterò insieme a tutti gli appassionati il difficile ma appassionante cammino verso l'osservazione consapevole dell'Universo e dei fantastici oggetti che ci nasconde.

Si tratta di un vero e proprio corso di astronomia di base, che parte dalle fondamenta per giungere, con la dovuta calma e pazienza, alla scelta del telescopio e ai consigli sugli oggetti celesti da osservare.

Per ora limitiamoci a familiarizzare con l’astronomia, a capire di cosa parla e quali corpi e fenomeni troverete lungo il cammino.

Un consiglio prima di iniziare: preparatevi a grandi sorprese!

Osservare i pianeti

I pianeti del nostro Sistema Solare sono i corpi celesti più immediati da riconoscere e sicuramente i primi su cui dirigere il telescopio appena acquistato. Ognuno di essi manifesta dei fenomeni unici e rapidamente variabili nel tempo: un pianeta non vi apparirà mai lo stesso a ogni osservazione.

Contrariamente al pensiero di molte persone, e spesso anche a dispetto di qualche osservazione, tutto l'Universo è in perenne e costante movimento. Nulla resta immobile e immutabile. I pianeti sono i corpi celesti che più rispettano questo concetto universale. Le loro superfici e soprattutto le loro atmosfere, esattamente come accade per la Terra, possono cambiare di aspetto in poche ore. Alcuni, come Giove e Saturno, ruotano molto più velocemente del nostro pianeta e mostrano fenomeni che possono nascere e svilupparsi nel corso di poche ore. Se vi state quindi ponendo la classica domanda: "perché osservare continuamente un pianeta, non è sempre lo stesso?" ora avete la risposta e mano a mano che la vostra esperienza aumenta, vi accorgerete delle splendide sorprese che vi possono regalare questi piccoli corpi celesti (piccoli rispetto all'immensità dello spazio).

Molti osservatori, proprio per la mutabilità e i molti dettagli che vi si possono osservare, si dedicano solamente alla loro osservazione.

L'osservazione dei pianeti non richiede un cielo scuro, anzi, può essere condotta anche dal centro di una grande città; anche per questo molti astrofili cittadini si specializzano nella loro osservazione.

Mercurio è il pianeta più piccolo e vicino a Sole. La sua superficie è grigiastra, quasi del tutto priva di atmosfera e solcata in lungo e in largo da grandi crateri causati da miliardi di anni di impatti con grandi meteoriti. Dalla sua superficie il Sole appare tre volte più grande rispetto a quando lo vediamo qui dalla Terra e la temperatura raggiunge i 450°C. Di notte, invece, senza la protezione dell'atmosfera precipita fino a -100°C. Nessuno potrebbe vivere su Mercurio… peccato.

Il diametro apparente è sempre piuttosto piccolo, mediamente attorno a 10". Poiché è un pianeta interno mostra il fenomeno delle fasi. A seconda della posizione rispetto a noi e il Sole, lo vedremo come una falce più o meno sottile, un po' come fosse una mini Luna. Questo è tutto quello che potremo osservare al telescopio, anche attraverso strumenti più potenti. Le difficoltà di osservazione rendono infatti quasi sempre vani gli sforzi per vederlo al meglio. Sempre basso sull'orizzonte soffre infatti di notevole turbolenza atmosferica.

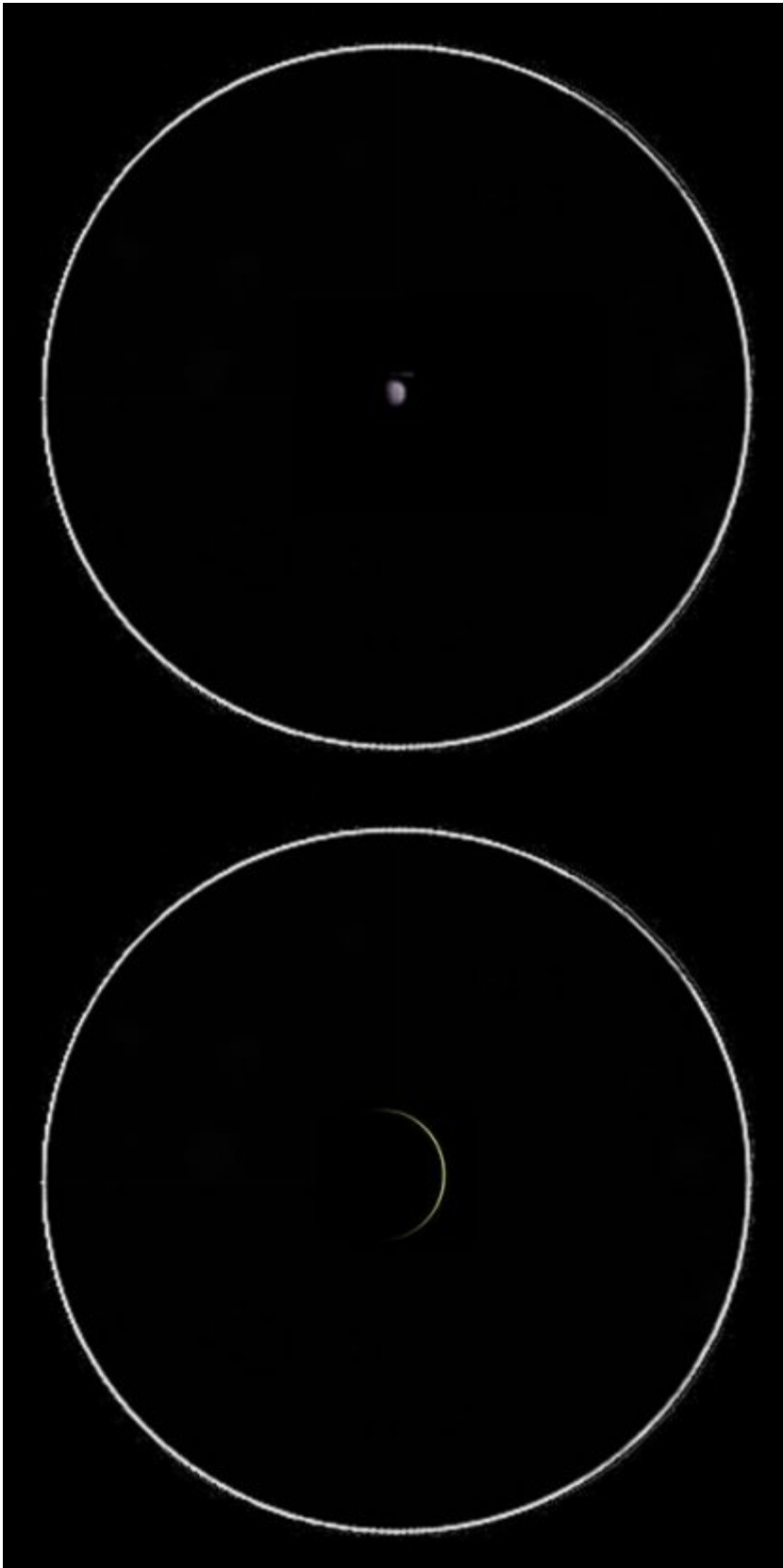
La fase è visibile con ogni strumento, a partire da un rifrattore da 80 mm e circa 100 ingrandimenti. Inutile andare oltre i 200 X perché l'immagine bollirà sempre.

Venere è molto più brillante e si discosta decisamente più dal Sole. È un pianeta interno quindi anche lui mostrerà le fasi, che sono visibili anche con un binocolo da appena 10 ingrandimenti. Grande quasi quanto la Terra e molto più vicino (anzi, è il pianeta più vicino, fino a 40 milioni di chilometri!), mostra un diametro minimo di 10" quando si trova dall'altra parte del Sole. Durante le massime elongazioni si può osservare dopo il tramonto o prima dell'alba abbastanza alto in cielo e con un diametro medio di 30". Mano a mano che il suo percorso intorno al Sole prosegue e

contemporaneamente si avvicina alla Terra, le dimensioni angolari crescono e la fase si assottiglia, diventando molto suggestivo.

È un obiettivo facilissimo con ogni telescopio, anche un piccolo giocattolo da 60 mm di diametro. È molto luminoso quindi ben supporta gli alti ingrandimenti. Purtroppo, a causa della sua spessa e impenetrabile atmosfera sempre ricoperta di nubi, non è possibile osservare la superficie e nessun dettaglio. Solamente gli osservatori esperti, con telescopi di almeno 150 mm, riescono a carpire qualche tenue sfumatura delle nubi quando la fase è attorno al 50%. Obiettivo quindi facile da osservare ma avaro di soddisfazioni. Le sue nubi non solo ci oscurano sempre la visione della superficie, ma regalano al pianeta un intenso effetto serra che fa salire la temperatura media oltre i 450°C sempre, anche ai poli, e persino di notte. Venere si guadagna quindi di diritto il titolo di pianeta più caldo e inospitale del Sistema Solare, una vera e propria fornace in grado di fondere persino alcuni metalli come piombo e stagno, nemica di qualsiasi forma di vita.

Venere è avaro di dettagli ma molto bello da osservare. Disegno di

Giorgio Bonacorsi all'oculare di un telescopio Dobson da 130 mm a 220X.

Mercurio, in alto, e Venere, in basso, come appaiono a un telescopio di 80-130 mm a circa 250 ingrandimenti. Oltre alla fase non si riesce a scorgere molto.

Marte è il più simile alla Terra e il più interessante, ma è anche tra i più difficili da osservare con profitto. Non è molto grande e ha un'orbita un po' allungata, quindi si osserva al meglio solamente quando si trova nel punto più vicino alla Terra, a cavallo di un periodo detto opposizione (termine che abbiamo già sentito qualche pagina addietro). La finestra in cui il pianeta rosso inizia a mostrare dettagli a strumenti a partire da 80 mm si apre orientativamente da tre mesi prima a tre mesi dopo l'opposizione. Purtroppo questi sono eventi rari che si verificano ogni 26 mesi e non sempre sono

favorevoli.

In un'opposizione media il diametro angolare di Marte è di 18-20" e questo significa che per vederlo grande come la Luna piena a occhio nudo dobbiamo ingrandire di un centinaio di volte. Non ci basterà, già lo sappiamo, ma a 150-200 ingrandimenti, se usiamo telescopi a lenti da almeno 90-100 mm, potremo avere una bella visione. Il colore rossastro sarà evidente, mentre in uno dei poli si noterà la bianca calotta polare fatta di ghiaccio d'acqua e di anidride carbonica. La sua tenue atmosfera lascia vedere magnificamente i diversi colori della superficie. Il dettaglio più bello e contrastato è Syrtis Major, una lunga lingua di terra scura che si staglia, quando visibile, al centro del piccolo dischetto. Altro dettaglio alla portata anche di piccoli telescopi è Sinus Sabeus, un'altra lingua questa volta orizzontale non troppo distante da Syrtis Major. Telescopi da almeno 150 mm potranno osservare certe volte delle piccole macchie biancastre: sono le nubi del pianeta rosso, del tutto simili ai cirri terrestri. La visione diventa molto bella con un telescopio da 200 mm utilizzato a 300 ingrandimenti in una serata in cui la turbolenza dell'aria è molto bassa.

Dolci chiaroscuri si staglieranno sul globo e forse avremo anche l'impressione di vedere i famosi canali che gli astronomi dell'800 credevano di scorgere. In realtà si tratta di suggestive illusioni ottiche che ci ricordano che un tempo, su quel mondo lontano, scorreva acqua e forse c'era anche la vita. Ora, invece, dobbiamo accontentarci e immaginare, mentre lo osserviamo, che intorno e sulla superficie ci sono alcune delle nostre astronavi automatiche partite dalla Terra mesi e anni prima. Un giorno, forse, l'uomo riuscirà a metterci piede e scoprire molti misteri che ancora gelosamente custodisce.

Un tempo lontanissimo infatti, Marte doveva essere ricoperto di acqua e fiumi e sperimentare temperature molto simili alla Terra. Poi tutto questo sparì; il paradiso si trasformò in un arido deserto freddo in cui l'acqua liquida non solo non c'è più, ma in molte zone non può neanche esistere. Se aprissimo una bottiglia, l'acqua esploderebbe come quando la si versa su una padella infuocata.

Sulla superficie di Marte attualmente non potrebbe vivere nessuna delle specie viventi che conosciamo. Non c'è ossigeno, manca l'acqua, l'atmosfera è troppo tenue e non blocca le dannose radiazioni solari. La temperatura media è di -68°C! È vero, all'equatore e nelle giornate più assolate si possono raggiungere i +20°C, ma poi di notte si precipita a -70°C e non vorremmo davvero trovarci da quelle parti senza un'opportuna protezione!

Un disegno di Marte decisamente migliore del mio della pagina precedente eseguito da Giorgio Bonacorsi durante l'opposizione del 2012, osservando all'oculare di un piccolo Dobson da appena 130 mm di diametro a circa 220 ingrandimenti.

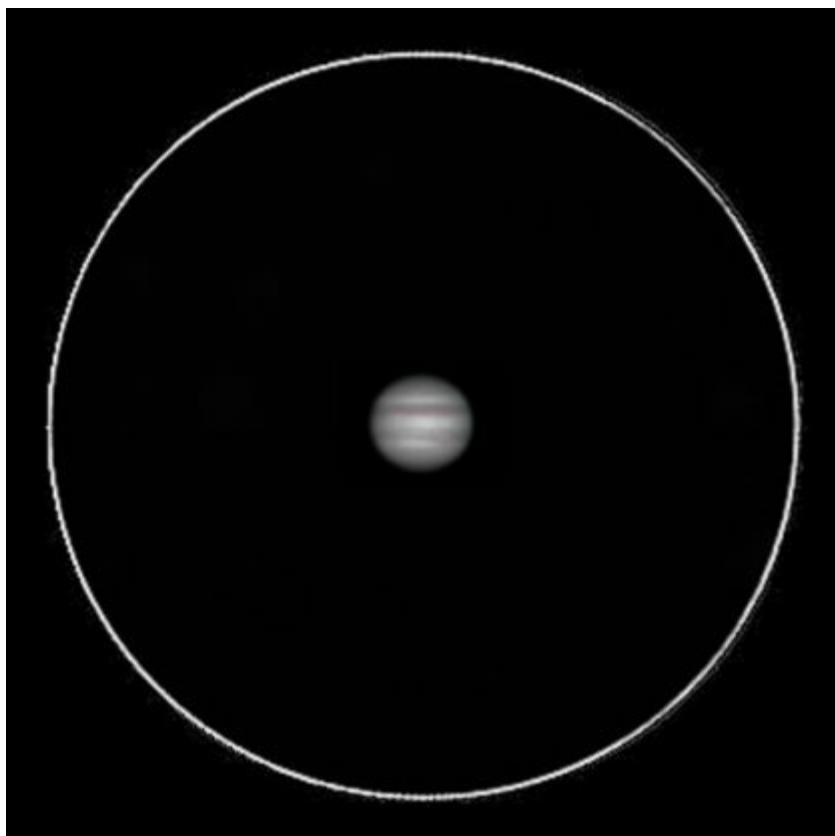
Mappa di Marte compilata dall'Unione Astrofili Italiani (UAI) grazie alle osservazioni degli astrofili. Sono riportati tutti i dettagli che un telescopio di 100-150 mm può effettivamente mettere in luce.

Giove è il gigante del Sistema Solare ed è osservabile per circa 10 mesi l'anno, tutti gli anni. Il diametro minimo alla massima distanza non scende sotto i 30" e nelle opposizioni più favorevoli supera di poco i 50". Per i nostri telescopi questo significa una gran festa e un'esplosione di facili dettagli, che diventano ancora di più con l'allenamento. Essendo un pianeta gassoso è privo di superficie solida, ma nella sua atmosfera si scatenano i fenomeni più violenti, veloci e colorati del Sistema Solare.

Un telescopio da 60 mm permette già di vedere le due bande e, con un occhio ben allenato, addirittura la grande macchia rossa, un ciclone che si trova sotto la banda equatoriale sud grande due volte la Terra, che imperversa da almeno 400 anni con venti che raggiungono i 500 km/h! Ha un colore marroncino pallido che all'aumentare del diametro dello strumento diventa sempre più evidente e tendente al rosato.

Con lo stesso, modesto, strumento si può assistere alla danza dei quattro principali satelliti scoperti da Galileo tra il 1609 e il 1610: Io, Europa, Ganimede (il più grande del Sistema Solare) e Callisto.

Un telescopio da 90 mm di diametro a 150 ingrandimenti restituisce una visione già bellissima, con il pianeta ormai già oltre tre volte più grande della Luna piena che si mostra ovale a causa della rapida rotazione attorno all'asse (meno di 10 ore!). Nel disco, oltre alle due bande principali, si possono osservare molti altri elusivi dettagli, soprattutto tra le due bande, nella zona equatoriale. Stiamo ammirando i famosi festoni, delle correnti atmosferiche che a seconda dei periodi si mostrano più o meno evidenti e colorate.

Di Giove non ci si stanca mai, soprattutto con strumenti da 150 mm in su utilizzati ad almeno 200 ingrandimenti. Piccoli cicloni colorati, altri più chiari, i satelliti galileiani che a ben guardare si mostrano come minuscoli dischetti e non più come dei punti. È un'esplosione di dettagli che merita un'osservazione prolungata nel tempo e un bel disegno. Se poi abbiamo la fortuna di mettere gli occhi con calma in uno strumento da 200 mm vedremo ancora più dettagli, con i colori ben evidenti e molto simili a uno straordinario dipinto.

Marte, in alto, e Giove, in basso, osservati la prima volta con un piccolo rifrattore da 100 mm a circa 200 ingrandimenti. Sebbene il nostro cervello ce li farà vedere piccoli e poveri di dettagli, nel corso del tempo li vedremo molto meglio di così.

Saturno è il signore degli anelli, ben visibili con qualsiasi telescopio a partire da 15-20 ingrandimenti.

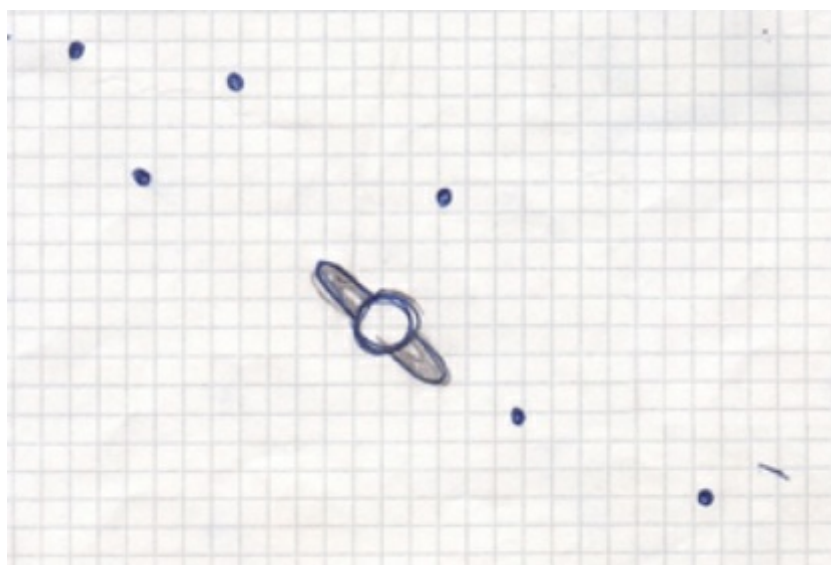
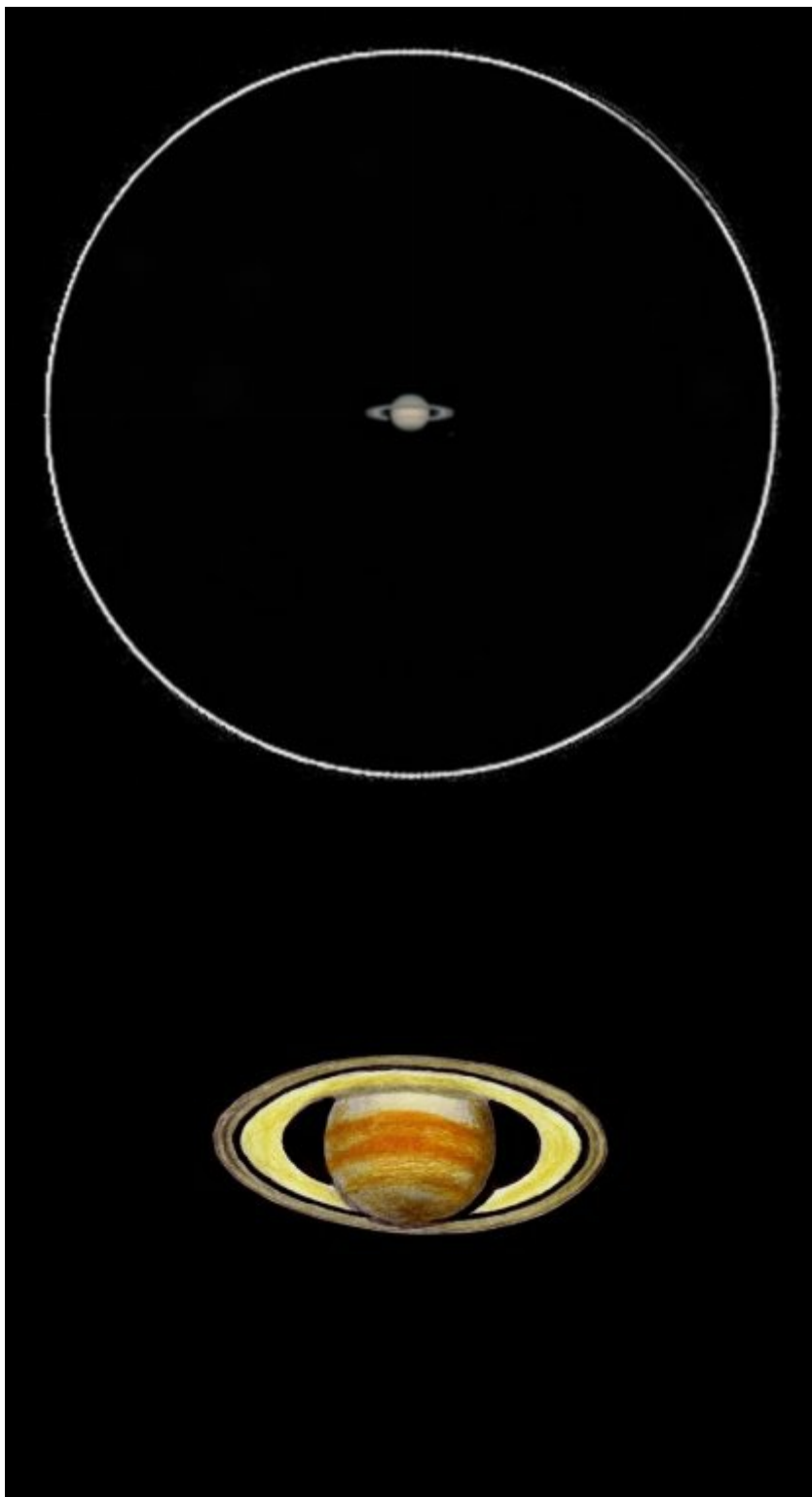
È indescrivibile la bellezza del pianeta, così perfetta che a volte non si riesce a credere come sia possibile la sua esistenza. Molto più calmo di Giove, a causa della maggiore distanza (siamo già a 1 miliardo e mezzo di chilometri dalla Terra!), è facilissimo da osservare con qualsiasi telescopio. Il diametro del globo è di circa 19" mentre quello degli anelli raggiunge i 45". A causa della grandissima distanza si può osservare sempre molto bene in qualsiasi periodo dell'anno, purché sia visibile e ben alto sull'orizzonte.

Strumenti superiori ai 70-80 mm utilizzati ad almeno 100-150 ingrandimenti permettono di notare una sottile linea scura

negli anelli. È la famosa divisione di Cassini, una zona larga 4000 km nella quale gli anelli sono molto più rarefatti.

Costituiti da pietrisco e polveri, composti in buona parte di ghiaccio d'acqua, sono spessi solo poche centinaia di metri e non si mostrano quindi omogenei.

Un telescopio da almeno 100 mm a 200 ingrandimenti consentirà di notare anche alcune bande nell'atmosfera del globo, oltre ad alcuni piccoli dettagli molto interessanti, come l'ombra del pianeta sugli anelli e almeno 4-5 satelliti. Il più brillante, Titano, è osservabile con qualsiasi strumento, mentre gli altri, più deboli, richiedono un po' di attenzione perché sono sempre vicini alla sagoma brillante del pianeta.

Strumenti da 150 mm in su, a 300 ingrandimenti se la serata lo consente, restituiscono immagini mozzafiato, più spettacolari e suggestive di qualsiasi immagine potremo mai guardare in internet. Gustiamoci il sublime momento scattando tante foto con la nostra mente e cercando di carpire ogni piccola sfumatura di questa mastodontica opera d'arte che fluttua libera nello spazio.

La prima osservazione di Saturno non si può certo dimenticare; gli anelli sono incredibili da osservare, anche se molto difficili da disegnare! Telescopio rifrattore da 80 mm f5.

Magnifico Saturno e i suoi anelli. In alto, come appaiono attraverso un modesto rifrattore da 80 mm, in basso, con uno strumento di almeno 100 mm dopo la necessaria esperienza. È una visione di eccezionale bellezza.

Urano e Nettuno sono invisibili a occhio nudo, quindi difficili da trovare. Mostrano diametri apparenti molto piccoli, in media 3,5” per Urano e solo 2,5” per Nettuno. Si vedono

facilmente con ogni telescopio, ma solamente con strumenti da 80 mm in su è possibile, spingendo l'ingrandimento a 200X, notare i piccoli dischetti. Con telescopi da 100 mm se a lenti o 150 mm se a specchio, questo più o meno il rapporto tra le prestazioni visuali di un buon rifrattore e un riflettore, si può notare facilmente il colore. Urano è verde pallido, mentre Nettuno è azzurrino. Nessun telescopio è in grado di scorgere dettagli, ma l'idea di osservare un piccolo dischetto lontano da 3 (Urano) a 5 (Nettuno) miliardi di chilometri mette davvero i brividi. Spesso quando li osservo mi metto a pensare a come sarebbe stare in quei posti scuri e freddi, dove la luce del Sole è decine di volte più debole e il suo disco è quasi un punto nel cielo. Un luogo scuro e silenzioso dal quale poter osservare tutti gli altri pianeti come delle minuscole lune e perdersi nel silenzio dello spazio aperto. Affascinante…

Il Sole e la Luna

Benché non sono pianeti, anche questi due corpi celesti si osservano molto bene al telescopio, ma con un'avvertenza per il Sole, che scrivo a caratteri grandi anche se potrei sembrare maleducato:

MAI OSSERVARE IL SOLE CON UNO STRUMENTO ASTRONOMICO SENZA UN APPOSITO FILTRO SOLARE DA PORRE DI FRONTE L'OBIETTIVO. Puntare il Sole senza filtri è pericolosissimo e si rischia di perdere la vista anche con una fugace occhiata. Per favore, non fatelo.

Quando si è giovani si tende a ignorare o sfidare il pericolo e io non feci di certo eccezione. Sapevo che non dovevo osservare il Sole, ma un giorno di novembre dei banchi di nebbia schermavano la sua luce e lo rendevano non fastidioso da ammirare a occhio nudo, così decisi di puntarlo con il mio binocolo. In quel momento, però, il banco di nebbia si diradò e la luce solare mi accecò per qualche minuto. Dopo un grande spavento ripresi a vedere, ma capii sulla mia pelle che non avrei mai più dovuto fare una cosa del genere. Il Sole si osserva solo con appositi filtri che vanno messi di fronte l'obiettivo, prima che la luce entri nel telescopio. Mai usare filtri solari fatti in casa come le maschere da saldatore o vecchie radiografie. La vista è troppo preziosa e una volta persa non torna più.

Detto questo, se compriamo un filtro solare per il nostro strumento (ottimo ed economico è l'Astrosolar dell'azienda Baader Planetarium), possiamo osservarlo in sicurezza e comodità. Prima di farlo, però, ricordiamoci di tappare il cercatore del telescopio o di toglierlo del tutto perché anche questo può causare danni alla vista.

In una giornata di normale osservazione solare mi dimenticai di tappare il cercatore. Non lo usai per puntare il Sole, ma mentre osservavo all'oculare cominciai a sentire una leggera puzza di bruciato e poi un gran dolore: era la mia spalla che stava prendendo fuoco perché ci arrivava la luce del Sole proiettata dal cercatore!

Potrei giustificarmi con il fatto che ero un bambino senza esperienza, ma non voglio dire una bugia: era lo scorso anno. Ero grande ed esperto, ma evidentemente non fui abbastanza attento. Tutto questo per dire che con il Sole non bisogna mai scherzare.

Per puntarlo in sicurezza si mette il filtro al telescopio, si toglie il cercatore e si muove lo strumento osservando l'ombra che proietta in terra. Quando questa avrà la minima estensione il Sole si troverà nel campo inquadrato e potremo osservarlo.

Se con il telescopio è stato fornito un filtro solare piccolo da avvitare all'oculare, buttatelo via subito, perché non è sicuro. Il calore che si accumula dopo aver attraversato il telescopio è in grado di fare un buco in un tappo di plastica in due secondi, quindi può rompere questo filtro e causare gravi danni alla vista.

Dopo tutta questa doverosa ramanzina sulla sicurezza (safety first, direbbero gli amici inglesi), cosa possiamo vedere di così tanto bello sul Sole?

Beh, intanto meglio capire cosa è il Sole. Sappiamo che è una stella, quindi brilla di luce propria, al contrario dei pianeti e della Luna che si limitano a rifletterla. Ma non abbiamo dato una gran risposta, perché potremo sempre dire: cos'è una stella? E qui non possiamo più sfuggire. Una stella, come il Sole, è una gigantesca sfera di gas infuocata, composta per circa il 74% da idrogeno, il 24% da elio e per il restante 2% da tutti gli altri elementi che qui sulla Terra sono così abbondanti, tra cui l'ossigeno e il carbonio.

La superficie di una stella appare molto brillante perché è caldissima, nel caso del Sole 5500°C. Ma da dove arriva questa energia? Dalle regioni interne, in cui la temperatura sale fino a 15 milioni(!) di gradi e in cui lo scontro violentissimo tra le particelle che compongono il gas da vita a quelle che vengono chiamate reazioni di fusione nucleare. In pratica, il Sole e tutte le altre stelle sono delle immense centrali nucleari a fusione, qualcosa che qui sulla Terra vorremmo tanto costruire per sostituire quelle pericolose e dannose che si basano invece sulla fissione, il procedimento contrario.

Nel centro delle stelle gli atomi di idrogeno privi di un elettrone si scontrano così violentemente tra di loro che si fondono, formando il nucleo atomico di una nuova sostanza: l'elio. Nel processo viene liberata una quantità di energia incredibile. Dalla fusione di un grammo di atomi di idrogeno si ricava la stessa quantità di energia che avremmo bruciando 11 tonnellate di carbone. Per noi, in pratica, significherebbe energia eterna!

La materia presente nel centro del Sole è enorme, tanto che lo fa brillare di una luminosità elevatissima che durerà almeno per altri 5 miliardi di anni.

Il Sole non ha una superficie solida, ma lo strato superiore che emette la luce che poi vediamo è detto fotosfera ed è quello che osserviamo al telescopio.

Su questo strato spesso circa 300 km si possono osservare le macchie solari, regioni più scure e dalla forma curiosa, ricche di sfumature, che attraversano il disco nel corso dei giorni. Le macchie più grandi sono visibili persino a occhio nudo (sempre con un filtro solare!) e splendide con ogni strumento. Il loro numero aumenta nel corso del tempo fino a raggiungere un picco

ogni 11 anni: è il famoso ciclo solare. Le macchie solari sono delle vere e proprie voragini nella fotosfera che si trovano a temperature fino a 1000°C al di sotto della media.

Nei pressi del bordo è possibile ammirare delle zone più chiare del normale, dette facole. Nelle regioni centrali un telescopio da almeno 80 mm di diametro a 100 ingrandimenti riesce a distinguere una specie di trama. Stiamo osservando la granulazione, sacche di gas dal diametro tipico di 1000 km che salgono dalle profondità, rilasciano il calore e poi sprofondano di nuovo. Il tutto nell'arco di una decina di minuti.

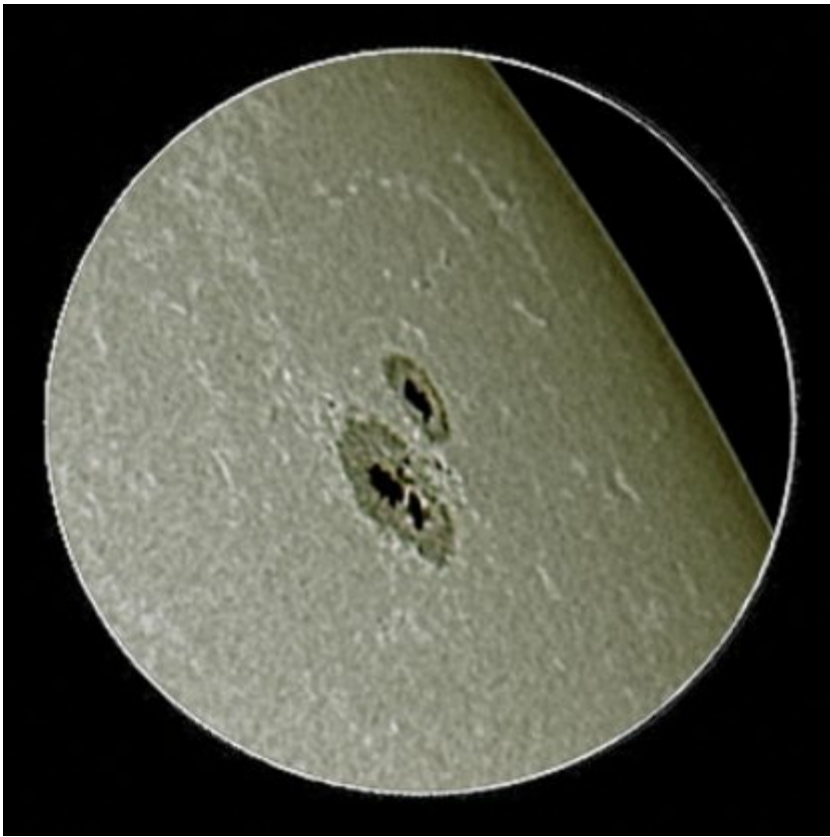
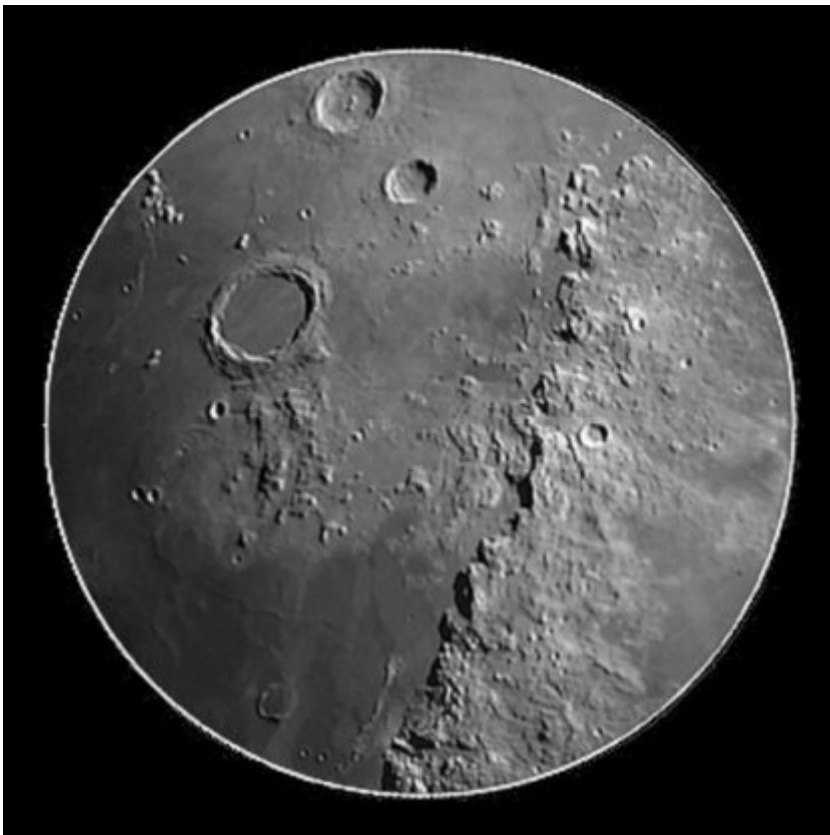
Utilizzando alcuni particolari telescopi che sicuramente non abbiamo, detti telescopi in H-alpha (o solari) è possibile ammirare l'aspetto più violento del Sole: le protuberanze e i brillamenti, nient'altro che delle esplosioni nella parte bassa dell'atmosfera che proiettano nello spazio delle spettacolari fontane di gas incandescente, come se uscissero dalla bocca di un enorme vulcano. Questo tipo di telescopi è molto costoso e dedicato solo all'osservazione del Sole, quindi è meglio fare come me: diventare amico di qualche appassionato che ce l'ha e approfittarne per dare un'occhiata gratis ogni tanto!

Della Luna abbiamo già parlato e non c'è molto da aggiungere se non divertirsi a esplorare, magari a ingrandimenti superiori a 150X, tutta la superficie alla caccia di dettagli strani e spesso nascosti. Oltre ai crateri più grandi, che abbiamo già visto al telescopio, sono evidenti imponenti montagne e catene montuose, valli, scarpate, piccole colline, giochi di luci e ombre davvero particolari lungo il terminatore lunare.

Non ci basterà una vita intera per esplorare ad alti ingrandimenti tutti gli anfratti lunari. Un buon atlante lunare è

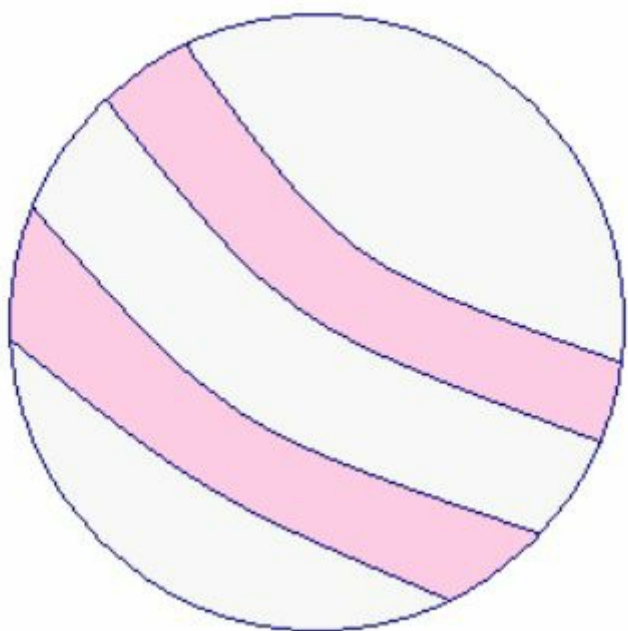
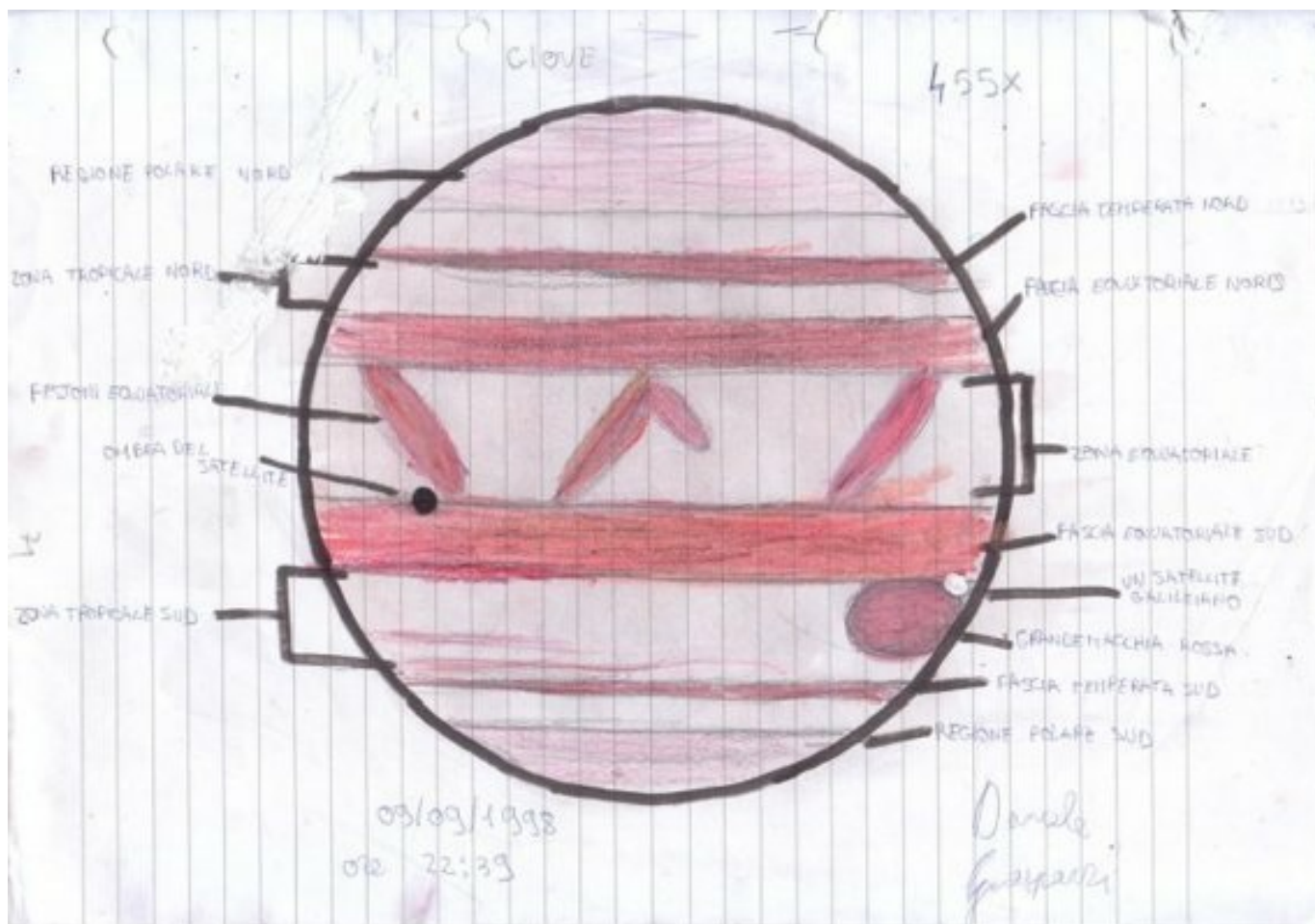
ideale per conoscere i nomi e le proprietà delle formazioni. Non sono un patito della Luna, ma crateri come Clavius, Copernico e Plato, oppure catene montuose come le Alpi e gli Appennini (sì, siamo sulla Luna!) sono formazioni famosissime e sempre spettacolari con qualsiasi telescopio. Se vogliamo scoprire qualcosa di più, prima di acquistare un vero e proprio atlante possiamo iniziare a divertirci con quello che ho costruito sul mio sito web, raggiungibile a questo indirizzo:

http://www.danielegasparri.com/Italiano/moon_atlas_index.ht

A proposito di crateri, non so chi lo sa, ma questi sono dei veri e propri buchi lasciati dall'impatto violentissimo con migliaia di asteroidi nel corso della storia della Luna. In 4,6 miliardi di vita del Sistema Solare di meteoriti ne cono caduti milioni anche sulla Terra, ma qui venti, terremoti, acque e vegetazione cancellano in fretta questi inquietanti segni. Eppure la Luna è il testimone più evidente del più grande impatto della storia del nostro pianeta. Poco dopo la formazione della Terra, ci venne addosso un pianeta grande come Marte, denominato Theia. Nell'immenso impatto Theia si vaporizzò e fece schizzare nello spazio pezzi della giovane Terra che formarono in poco tempo la Luna. Che bella storia, vero? La Luna come costola della Terra. Anche questa è la bellezza dell'astronomia.

Il Sole, con un apposito filtro solare, mostra facilmente le macchie solari, la granulazione e le facole, anche a strumenti di piccolo diametro, come 80-90 mm.

Lo spettacolo offerto dalla Luna è visibile con ogni strumento, anche a ingrandimenti modesti.

Consigli per osservare al meglio i pianeti

Sappiamo ormai come trovare i pianeti brillanti e come riconoscerli rispetto alle stelle, ma se abbiamo avuto modo di vederne uno con il nostro telescopio, allora ci siamo accorti di una cosa che forse è un po' deludente: sembrano sempre troppo piccoli, al punto che i dettagli che molti esperti osservatori dicono di vedere noi non li percepiamo affatto.

Quando riscoprii Giove nell'estate del 1998 vidi solamente le due bande principali, contrariamente al mio fido manuale che narrava di strutture che io non riuscivo a scorgere. Se ora qualcuno volesse sfidarmi e mi mostrasse con qualsiasi telescopio un pianeta, io vedrei molti più dettagli di voi. Sono più bravo? Ci vedo meglio? Me li sono inventati? No, mi sono allenato! I dettagli saltano fuori meglio dopo qualche minuto di osservazione attenta e aumentano di molto mano a mano che facciamo esperienza. Bastano già dieci osservazioni e riusciremo a vedere molto di più di prima.

Ecco quanto conta l’esperienza e l’allenamento nell’osservazione dei pianeti. In alto, una delle prime osservazioni di Giove. Il disegno fatto al computer non mostra altri dettagli se non le due bande equatoriali, peraltro dalla forma piuttosto strana e non corrispondente alla realtà. In basso, stesso strumento, rifrattore da 90 mm, stessi ingrandimenti, 250X, ma un anno dopo e soprattutto dopo molta esperienza.

Poiché sono una persona normale, questo è probabilmente il miglioramento che ognuno di noi può aspettarsi con un po’ di allenamento. Resta però il fatto che i pianeti all’oculare del telescopio sembrano sempre piccoli. Questa è un’illusione bella e buona, causata dal nostro cervello che non sa bene come comportarsi quando osserviamo con un occhio solo un dettaglio solitario immerso nel nero del cielo. Giove a soli 50 ingrandimenti appare grande come la Luna piena vista a occhio nudo. Non sarà enorme ma è più che sufficiente per vedere molti dettagli. Eppure il nostro occhio farà fatica a credere a questo

fatto e ci mostrerà un pianeta in apparenza molto più piccolo. Non c'è problema. Se è alto sull'orizzonte e non c'è molta turbolenza atmosferica, possiamo tranquillamente arrivare a 200 ingrandimenti anche con un piccolo rifrattore da 80 mm di diametro, il minimo strumento per osservare molti dettagli sui pianeti. A 200 ingrandimenti Giove appare più di 4 volte più grande della Luna piena vista a occhio nudo. Anche se non sembra, è gigante! Se non vediamo dettagli ci serve solo un po' di pratica. Aumentare a dismisura l'ingrandimento non è consigliabile. Meglio non fare come un bambino che conoscevo che comprò il secondo telescopio solamente perché con una focale più lunga poteva raggiungere ingrandimenti maggiori senza comprare nuovi oculari. Peccato che il diametro del telescopio era più grande solo di un centimetro, quindi di dettagli non ne vedeva di più. Quel bambino, tanto per cambiare, ero io.

Questioni personali a parte, è molto bello e affascinante cercare di disegnare quello che vediamo nei piccoli dischi planetari. Non importa se non siamo bravi disegnatori; io sono sicuramente il peggiore eppure questo non mi ha fermato. Non dobbiamo vincere un concorso artistico ma dare maggiore valore alle nostre esperienze, magari compilando un vero e proprio diario delle osservazioni in cui oltre ai disegni scriviamo le nostre impressioni sugli oggetti osservati.

In quel magico agosto 1998, con il mio nuovo telescopio, mi dedicai per settimane a Giove, annotando ogni sera la posizione dei quattro satelliti e i dettagli visibili.

Perché osservare i pianeti?

Il bello dei pianeti è che si possono osservare ogni volta che si vedono alti sull'orizzonte, anche quando c'è la Luna e persino se siamo immersi nelle luci della città. In questi casi, infatti, noi sfruttiamo solo una delle caratteristiche del telescopio: il potere risolutivo. Della capacità di raccolta della luce non ci facciamo nulla perché i pianeti sono già molto brillanti. Le osservazioni dei pianeti, quindi, possono essere fatte anche dal balcone di casa, come faccio attualmente, e non prevedono grossi impegni di tempo per scaricare le mappe, né dispendi di energia per trovarli con la tecnica dello star hopping.

Sono solo quattro i pianeti belli da osservare, anzi, tre e mezzo considerando che Marte si vede bene una volta ogni due anni, eppure ci sono appassionati che osservano solo loro per anni.

Ricordo come fosse ieri che ogni volta che uscivo sul balcone a osservare Giove mia mamma incuriosita mi chiedeva cosa ci fosse da guardare. I pianeti non sono sempre uguali?

Assolutamente no. I pianeti sono gli oggetti più dinamici e sorprendenti che possiamo incontrare in tutto l'Universo.

Il re delle trasformazioni è sicuramente Giove. Con la sua atmosfera ricchissima di cicloni colorati e con una rotazione che si compie in meno di 10 ore, cambia aspetto in poche decine di minuti. Anche i quattro principali satelliti che gli orbitano intorno si muovono velocemente, cambiando posizione nell'arco di un paio d'ore. A volte uno di loro si nasconde dietro il pianeta e sembra sparire. Altre volte gli passa di fronte e quasi si confonde con i grandi cicloni dell'atmosfera del gigante, proiettando poco lontano un'ombra scurissima e molto

suggestiva.

Gli anelli di Saturno cambiano inclinazione ogni anno, mostrandosi molto aperti o quasi di taglio con lo scorrere delle stagioni. E se guardiamo più in dettaglio, sul globo compaiono improvvisamente piccole macchie bianche chiamate WOS, nient'altro che dei cicloni che dopo poco spariscono nel nulla.

La calotta polare di Marte, come quelle terrestri, si ritira e avanza con il susseguirsi delle settimane. A volte tempeste di sabbia di grande violenza si scatenano e diventano visibili anche con un piccolo telescopio come dei punti brillanti nei pressi delle zone equatoriali.

Di fronte a tutti questi eventi frequenti, ce ne sono altri più rari ma ancora più spettacolari. E allora ecco che improvvisamente, come accaduto nel 2010, su Saturno si scatena una tempesta planetaria che diventa visibile per mesi. A Giove sparisce una banda equatoriale, oppure precipita un meteorite e lascia dei segni neri nell'atmosfera per alcune settimane. Su Marte qualche tempesta può raggiungere scala planetaria e inghiottire tutto il pianeta in una gigantesca nuvola rossa. E come se questo non bastasse per farci rimanere attaccati all'oculare, la cosa straordinaria è che il 90% di questi fenomeni non viene scoperto da astronomi professionisti equipaggiati con giganteschi strumenti, ma proprio da noi appassionati, con piccoli telescopi e una grandissima passione!

Costellazioni

Questa rubrica è tratta dal libro: “La mia prima guida del cielo”.

Se avete un telescopio, magari da poco tempo, e volete cercare degli oggetti che non sapete come trovare, questa è la

sezione che fa per voi.

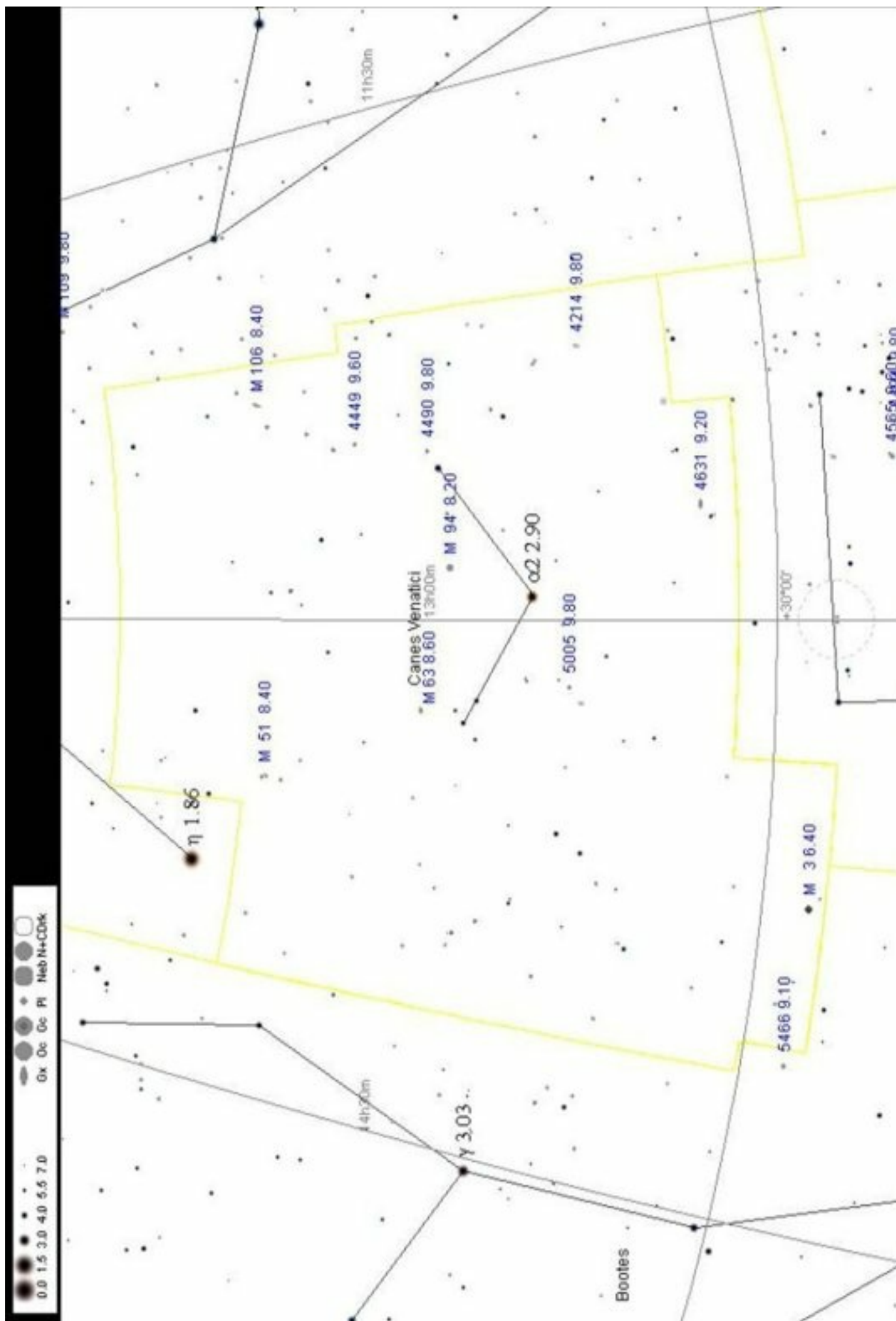
Ogni mese, compatibilmente con il periodo dell'anno in cui verrà rilasciato il nuovo numero, troverete uno zoom su due costellazioni interessanti, con una mappa contenente stelle fino alla magnitudine 7 e oggetti fino alla magnitudine 11, una breve descrizione, un cenno ai racconti mitologici (qualora presenti) e una lista, completa di immagini e disegni, degli oggetti del cielo profondo più facili da osservare.

Tutti gli oggetti deep-sky elencati sono alla portata anche di un piccolo strumento da 10 centimetri di diametro, e se avete una buona vista e un cielo scuro anche di un classico binocolo 10X50.

Non troverete immagini professionali, ma spesso disegni effettuati da altri osservatori con telescopi amatoriali. In questo modo spero di evitarvi il pericolo più grande dell'astronomia pratica: creare false aspettative.

L'osservazione visuale, infatti, non è neanche lontana parente della fotografia astronomica, in particolare per quanto riguarda i colori, invisibili quasi completamente con qualsiasi telescopio si osservi. Ma l'idea di poter osservare con i propri occhi, attraverso il proprio strumento, e quasi toccare quell'indistinto batuffoletto irregolare, che in realtà è un oggetto reale, posto a distanze inimmaginabili e di dimensioni inconcepibili appartenente a un Universo meravigliosamente perfetto, regala una soddisfazione che nessuna macchina fotografica o schermo di computer potranno mai regalare, né ora, né mai.

Canes Venatici – Cani da Caccia

In meridiano alle 22 del 1 Maggio

Descrizione

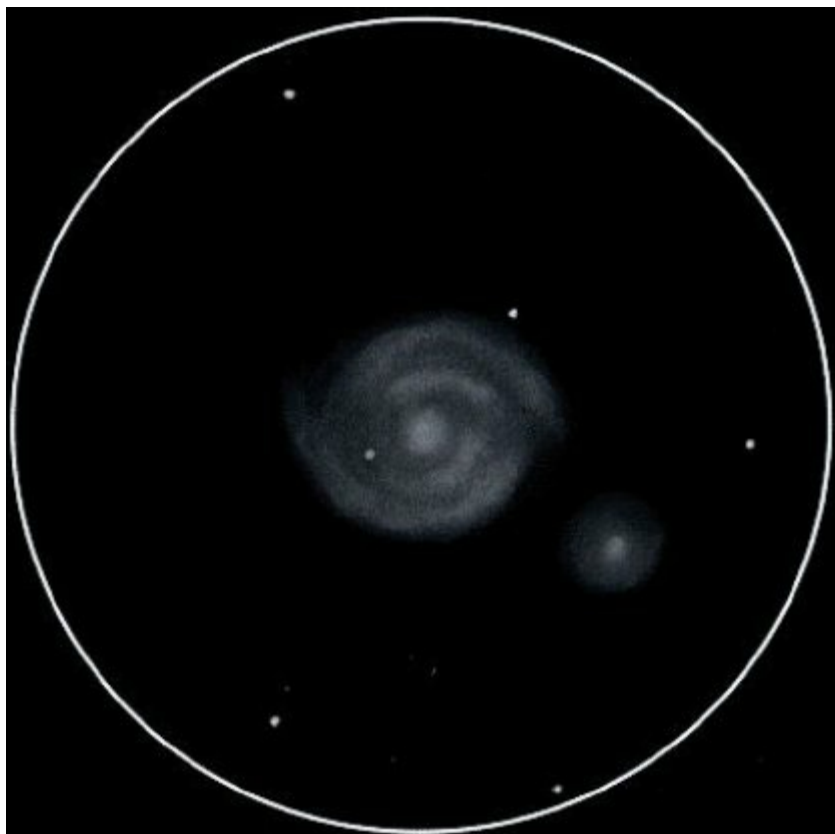
Secondo uno dei miti greci, i Cani da Caccia sono identificabili con i levrieri Asterion e Chara, condotti al guinzaglio da Bootes, alla caccia dell'Orsa maggiore e di quella minore.

La costellazione si trova a sud del grande carro e a ovest di Bootes. Formata da 3 stelle semplici da individuare, contiene molte galassie facili da osservare con un telescopio, anche di diametro modesto.

Oggetti principali

M3: Ammasso globulare in una zona ricca di galassie. Distante circa 35000 anni luce è facile da avvistare anche con un binocolo. Per risolvere la sua natura stellare, come tutti i globulari, occorre un telescopio da almeno 150 mm.

M51: Soprannominata la galassia Vortice, è una splendida galassia a spirale di magnitudine 8, quindi alla portata di ogni telescopio. Possiede una compagna più debole alla quale è legata gravitazionalmente, visibile con strumenti di 80-90 mm.

Come molte galassie, per mostrare qualche dettaglio oltre a un centro stellare circondato da un debole alone, richiede telescopi di diametro superiore ai 200 mm. Qualche osservatore afferma di aver visto i suoi bracci a spirale con strumenti da 250 mm e cieli molto scuri. In effetti, M51 è la galassia che mostra più facilmente i suoi bracci a spirale, sebbene mai come in fotografia. Per osservarli chiaramente è meglio usare strumenti di almeno 300 mm. La delicatezza e la precisione di questo disegno cosmico regala un'emozione difficile da descrivere a parole.

La magnifica galassia a spirale M51 come appare con uno strumento da 250-300 mm sotto un cielo scuro.

Disegno dell'ammasso globulare M3 con un telescopio da 250 mm a 130X.

M63: Detta galassia Girasole (sunflower in inglese) è un'altra galassia a spirale, diversa da M51, ma ugualmente luminosa. Possiede un nucleo abbastanza brillante e diffuso, tanto da poter essere avvistato anche con strumenti da 80 mm. La sua immagine, sebbene priva di dettagli, è molto evidente a partire dal classico diametro "di confine" di 150 mm. In effetti questo rappresenta il discriminante tra percepire e osservare in modo chiaro quasi tutti gli oggetti deep-sky, ad eccezione degli ammassi aperti.

M94: Galassia a spirale con un nucleo abbastanza brillante e di aspetto stellare. L'alone è visibile chiaramente solo con strumenti da 100 mm.

M106: Ancora una galassia a spirale, un po' debole perché priva di un nucleo brillante. Si mostra allungata con strumenti da almeno 100 mm.

Cepheus – Cefeo

In meridiano alle 22 del 1 Ottobre

Descrizione

Secondo i Greci Cefeo era un re dell'antico regno di Etiopia, termine usato per indicare l'intero continente africano, marito di Cassiopea e padre di Andromeda, che vide il proprio regno devastato dalla furia di Nereo, in conseguenza della vanità della moglie.

Cefeo è una costellazione circumpolare, piuttosto debole e difficile da individuare. Ha la forma tipica di una casa con il tetto aguzzo, posizionata tra Cassiopea e Drago. Situata ai confini della Via Lattea invernale, la culminazione nel cielo segna l'inizio della stagione autunnale.

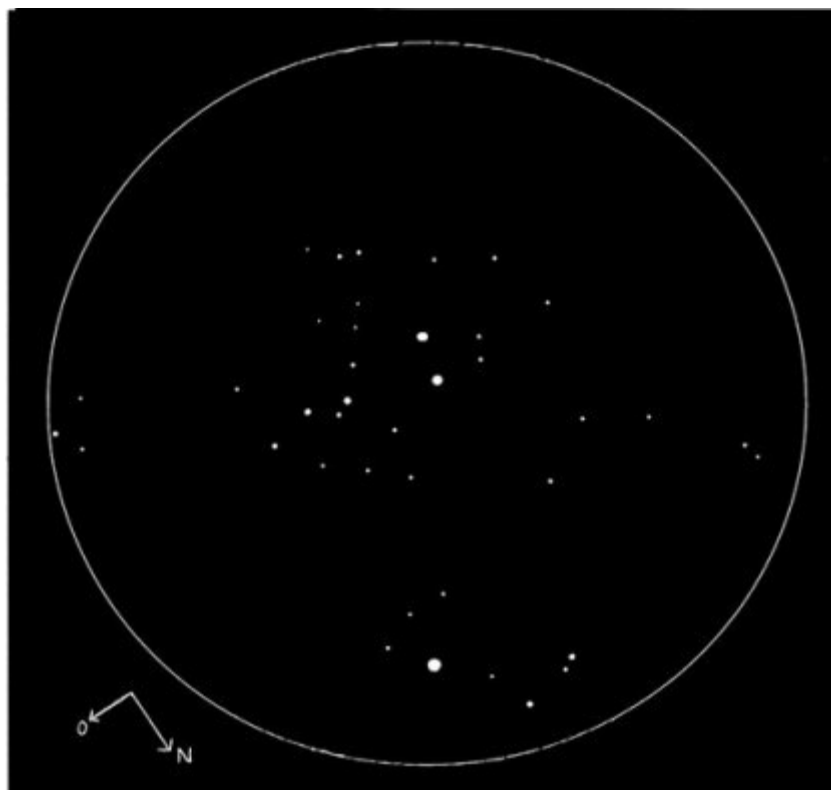
Oggetti principali

Delta Cephei: Non è un oggetto diffuso ma una stella estremamente importante, perché capostipite di una classe di variabili chiamate proprio cefeidi. Le cefeidi sono stelle che variano la propria luminosità a causa di pulsazioni dell'intera struttura che ne modificano il raggio, quindi la luminosità emessa. Delta Cephei varia tra la magnitudine 3,5 e la 4,4 in un periodo di soli 5,4 giorni.

Nei primi anni del 900 fu scoperto che il periodo di pulsazione di queste stelle è collegato (proporzionale) alla loro luminosità assoluta (energia emessa ogni secondo). Calcolando la distanza di alcune di esse attraverso altri metodi (ad esempio la parallasse), la grande astronoma Herrietta Leavitt poté collegare in modo preciso il periodo di pulsazione e la luminosità. Conoscendo la luminosità assoluta si può conoscere facilmente la distanza analizzando la luce che riceviamo a Terra. La grande luminosità di queste stelle le rende visibili a distanze di decine di milioni di anni luce, anche in altre galassie.

Negli anni venti del 900 l'astronomo americano Edwin Hubble riuscì a fotografare una variabile Cefeide in quella che si pensava essere la nebulosa di Andromeda, un oggetto ritenuto appartenere alla Via Lattea. Calcolando il periodo di pulsazione scoprì la distanza, e capì che quell'oggetto in apparenza nebuloso era in realtà una galassia contenente centinaia di miliardi di stelle. L'universo conosciuto, fino ad allora confinato alla nostra Galassia, si espanse indefinitamente.

NGC7160: Piccolo ammasso aperto, esteso solamente 7', contenente circa una ventina di stelle, tutte facilmente visibili con

strumenti da almeno 100 mm.

Il piccolo ammasso aperto NGC7160 attraverso uno strumento di 150 mm.

NGC7023: Meglio conosciuta come nebulosa Iris, è un ammasso aperto avvolto da una tenue nebulosa principalmente a riflessione, quindi dalla tipica colorazione azzurra. L'ammasso è visibile con ogni strumento, sebbene non sia uno dei più cospicui, mentre la nebulosa è riservata ai moderni sensori digitali.

NGC6946: Debole galassia a spirale vista quasi di fronte, al confine con la costellazione del Cigno. Ottimo obiettivo per i fotografi, meno per i visualisti. Come ogni spirale vista di fronte, si presenta piuttosto evanescente e trasparente, tanto che per individuarla con certezza è necessario uno strumento da 150 mm e un cielo molto scuro.

Purtroppo non esistono filtri o metodi per aumentare la

visibilità delle galassie, al contrario delle nebulose ad emissione che beneficiano abbastanza dei cosiddetti filtri nebulari, a patto di usarli in accoppiata ad aperture di almeno 200 mm.

Astrofotografia

Questa classica sezione sarà il contenitore nel quale convoglieranno preziosi consigli su come intraprendere la difficile ma estremamente appagante strada della fotografia astronomica.

Inizieremo dal basso, da alcune semplici applicazioni, per poi giungere, insieme, alle tecniche necessarie per ottenere le splendide immagini che è possibile ammirare in rete.

Se volete approfondire vi consiglio il libro: “Tecniche, trucchi e segreti dell’imaging planetario” per la fotografia dei pianeti, o: “Tecniche, trucchi e segreti della fotografia astronomica” per riprendere nebulose, galassie e ammassi stellari, con o senza telescopio.

Imaging deep sky: setup e tecnica di ripresa

Dopo aver visto le fasi principali della fotografia in alta risoluzione, in questo volume e nel prossimo affrontiamo le basi dell'imaging degli oggetti del cielo profondo attraverso il telescopio. Dobbiamo purtroppo essere pronti ad affrontare spese sostenute, perché la fotografia a lunga esposizione è il campo più costoso dell'astronomia amatoriale. Orientativamente un setup sufficiente, se dobbiamo comprare tutto, difficilmente richiede un investimento inferiore a 3000 euro, che potrebbero essere ripartiti nel seguente modo: 800 euro per una reflex digitale e una camera di guida molto semplice (anche usate), 1000 euro per una montatura di tipo HEQ5 con GOTO, 500 euro per un rifrattore ED da 80 mm, 200 euro per un telescopietto di guida con anelli per il collegamento. Sperando di avere a disposizione anche un computer portatile, le spese sono finite, altrimenti dobbiamo aggiungere almeno 300 euro per un piccolo netbook. L'argomento, poi, è un po' più complesso, soprattutto se vogliamo ottenere subito ottimi risultati, ma l'ingrediente principale è sempre e solo uno: la pazienza.

Andiamo quindi a vedere cosa serve e come si riprendono nel migliore dei modi ammassi stellari, nebulose e galassie.

Il telescopio e il sensore: un legame inscindibile

In linea di principio tutti gli strumenti sono adatti per iniziare a riprendere le meraviglie dello spazio profondo, ma se cerchiamo qualcosa che possa darci soddisfazioni e soprattutto ci eviti sproloqui indescrivibili quando saremo sul campo, di notte e magari da soli, allora meglio avere le idee chiare e iniziare con un setup minimo affidabile.

Veniamo allora allo strumento di ripresa, che è importante ma non nel modo in cui potremmo essere portati a pensare.

Il discriminante non è più la qualità ottica e il diametro dell'obiettivo, poiché si tratta generalmente di riprese in bassa risoluzione, piuttosto la capacità di raccolta della luce, identificata con il rapporto focale (f). Molti astroimager utilizzando addirittura piccoli strumenti da 50-60 mm di diametro per ottenere quadri stupendi dell'Universo che ci circonda; altri si sono specializzati nella fotografia con piccoli teleobiettivi e obiettivi fotografici.

Lo strumento ideale dovrebbe essere luminoso, quindi con rapporti focale non oltre f8, con una correzione ottica ottima, che non sempre si identifica con la qualità ottica.

Nelle riprese degli oggetti del sistema solare occorrono diametri generosi e una qualità ottica perfetta, ma limitata a una porzione del campo molto ristretta, non oltre pochi millimetri dall'asse ottico.

Nelle riprese degli oggetti del cielo profondo occorre, invece, un campo corretto esteso almeno per le dimensioni del sensore utilizzato.

Perché questo punto non è segno di qualità ottica eccellente?

Perché ogni strumento progettato e costruito a dovere deve

presentare sull'asse ottico immagini limitate solamente dalla diffrazione atmosferica, ma sono le leggi dell'ottica a determinare la qualità delle immagini lontano da questo punto. Le regole della natura, infatti, ci dicono che fuori dall'asse ottico alcune configurazioni strumentali possiedono, a prescindere dall'accuratezza della lavorazione, delle aberrazioni intrinseche, dette extra-assiali. Uno strumento da utilizzare per l'imaging degli oggetti del cielo profondo deve avere aberrazioni extra-assiali notevolmente ridotte e questo si ottiene, in prima approssimazione, con l'introduzione di configurazioni ottiche più complesse.

L'esempio classico è costituito dai telescopi di tipo Newton aperti a f5-6. Questi strumenti, se opportunamente lavorati, forniscono sull'asse ottico immagini stupende, limitate solamente dalla diffrazione atmosferica. Nessuna lavorazione però è in grado di eliminare il coma, molto evidente già a partire da 5 mm di distanza dall'asse ottico.

Per utilizzare con profitto tale telescopio, con sensori di lato superiore a 7-8 mm, quindi con tutte le reflex digitali, occorre necessariamente un accessorio, chiamato correttore di coma, altrimenti le immagini ai bordi appariranno sempre come delle piccole comete, perdendo in estetica e anche in precisione scientifica (ad esempio se si svolge attività astrometrica).

Strumenti esenti da aberrazioni extra-assiali nel panorama commerciale non esistono, se non a prezzi notevoli, per questo serve trovare dei compromessi.

Camere di ripresa con sensori da 7-8 mm di lato possono essere usate anche con telescopi Newton molto aperti. Sensori generosi come quelli delle reflex digitali, oltre i 15 mm di lato, non possono essere utilizzati con profitto con questi strumenti.

Ottimi sono i piccoli rifrattori apocromatici da 80-100 mm di diametro, che però devono essere muniti di spianatore di campo, un accessorio ottico che elimina un'altra aberrazione molto temuta dagli astroimager del profondo cielo: la curvatura di campo. I classici Schmidt-Casseegrain, che si rivelano un ottimo compromesso per i pianeti, sono probabilmente i meno adatti per il deep-sky per diversi motivi: meccanica non sufficientemente robusta, focale troppo lunga, rapporto focale troppo alto e una famiglia di aberrazioni extra-assiali da mettere letteralmente paura, soprattutto se si riprende con larghi sensori. Anche gli economici rifrattori acromatici sono da evitare se vogliamo ottenere ottimi risultati perché l'aberrazione cromatica residua si accentuerà notevolmente in fase di ripresa, a meno di non riprendere con filtri in banda stretta.

La morale della storia, come d'altra parte succede spesso in astronomia amatoriale, è che se abbiamo già una certa strumentazione, possiamo divertirci con quello che abbiamo, fare la necessaria gavetta, spremere tutto al 101% e poi decidere se è il caso di passare a qualcosa di più performante.

Tornando alla nostra disquisizione su telescopi e sensori di ripresa, il collegamento tra di loro non è terminato, perché ogni sensore è meglio adatto a un certo tipo di telescopio e di oggetti da riprendere.

Un altro fattore da tenere presente è proprio la scala dell'immagine e la classe di oggetti che vogliamo riprendere al meglio. Se vogliamo spingerci nelle profondità delle galassie o in riprese di nebulose a banda stretta (ad esempio H-alpha, l'unica via di salvezza se riprendiamo da una città), allora ci serve una camera CCD astronomica monocromatica. Nel caso delle galassie dovremo disporre anche di uno strumento di generoso diametro,

almeno 15 centimetri, con una focale attorno a un metro e un sensore che preferisce la sensibilità al grande formato, tanto le galassie non sono poi così grandi. Stesse considerazioni anche per le piccole nebulose planetarie.

Per dedicarci alle riprese delle estese nebulose a emissione e agli ammassi stellari ci serve uno strumento che non "ingrandisca" troppo, quindi una focale compresa tra i 500 e 800 mm e un sensore che preferisce un grande formato a una super sensibilità, come quello delle reflex digitali. Per le riprese a banda stretta ci serve invece obbligatoriamente un CCD monocromatico.

In merito alla scelta di un sensore a colori o monocromatico, il dibattito spesso è acceso e molto dipende dai gusti personali. Possedendo sia una Canon 450D che un CCD astronomico molto sensibile e monocromatico, posso solo dire che i sensori CCD in bianco e nero sono di un altro pianeta rispetto ai colleghi a colori. Questi hanno senso solo se decidiamo di utilizzare una reflex digitale, più economica e versatile di un CCD. Se invece vogliamo un CCD astronomico e siamo pronti a una spesa non indifferente, allora la scelta è scontata: monocromatico, senza sé e senza ma, altrimenti ci ritroveremo solamente con una costosissima reflex digitale un po' più evoluta.

A sinistra, una camera CCD progettata esclusivamente per applicazioni astronomiche, a destra una reflex digitale che privata di obiettivo si può collegare al telescopio e adattare allo scopo. Sono due strumenti molto diversi per prestazioni e prezzo. Le camere CCD sono molto costose ma incredibilmente più sensibili delle reflex, soprattutto nelle versioni monocromatiche. Le reflex, d'altra parte, hanno dal loro lato l'economicità, la versatilità e un sensore di grande formato. Sono ottime per imparare e divertirsi anche per anni, ma se vogliamo fare sul serio prima o poi dovremo passare al CCD.

In tutto questo dobbiamo inserire anche il seeing medio italiano, che pone un limite alla scala dell'immagine, ovvero il campionamento. Non ha infatti senso riprendere con campionamenti simili alle riprese in alta risoluzione. Tenendo in mente il seeing medio italiano, il campionamento massimo, nel caso dovessimo spingerci a riprendere piccoli oggetti come galassie e nebulose planetarie, è di circa 1"/pixel, un valore indicativo che può essere aumentato o diminuito anche di un 30% a seconda delle condizioni medie del luogo di ripresa.

Nel caso di riprese di oggetti con campo esteso, di solito non si raggiungono mai queste scale dell'immagine.

Nel mercato attuale sta prendendo piede la moda di sensori con pixel di piccolissime dimensioni. Se questo può essere un vantaggio, forse, per le riprese in alta risoluzione, non lo è per le

riprese deep-sky. Pixel più piccoli sono meno sensibili e si rischia concretamente di sovracampionare l'immagine. Nel caso delle reflex digitali non abbiamo possibilità di scelta, ma se dobbiamo comprare una camera CCD per astronomia, allora non conviene quasi mai utilizzare sensori con pixel più piccoli di 7 micron. Un ottimo compromesso tra sensibilità e campionamento è rappresentato da pixel di 9 micron di lato.

La seguente tabella cerca di identificare le migliori accoppiate strumento/camera di ripresa a seconda del campo di maggiore interesse.

Campo di applicazione	Sensore consigliato	Telescopio
Grandi campi stellari lungo il disco galattico	Reflex digitale, principalmente Canon, meglio se modificata con il filtro Baader che la rende sensibile anche al rosso, colore di emissione principale delle nebulose.	Obiettivo fotografico o piccolo teleobiettivo fino a 100 mm di focale.
Grandi nebulose a emissione e ammassi stellari	Reflex digitale modificata o, per riprese in banda stretta, CCD monocromatico con pixel da circa 9 micron e lato di almeno 15 mm. Un ottimo compromesso	Piccoli rifrattori apocromatici da 60 a 100 mm e focali comprese tra 400 e 800 mm.

	tra qualità e prezzo è rappresentato dalle camere Atik o dalle Magzero (ma solo i modelli più avanzati).	
Galassie e nebulose planetarie	CCD monocromatico, sensibile, con pixel da circa 7-9 micron. Le dimensioni del sensore non sono importanti. Ottime sono le camere Sbig, Moravian e le Atik. Da preferire sensori con microlenti con alta efficienza quantica (cioè alta sensibilità).	Newton o Schmidt-Cassegrain (con riduttore di focale) da 15 a 25 centimetri e focale compresa tra 1 e 1,5 metri.

Montatura e sistema di guida

Non si può fare fotografia del cielo profondo a lunga esposizione senza un ingrediente fondamentale: una montatura equatoriale (e solo equatoriale) motorizzata in entrambi gli assi, precisa e robusta.

Questo, però, non basta, quindi prepariamoci a un periodo di ricerca del setup ideale e di successivo allenamento tutt'altro che semplice.

La montatura deve essere stazionata in modo perfetto verso il polo nord celeste. Lo stazionamento è fondamentale per qualsiasi applicazione astronomica che richiede lunghe esposizioni, per questo occorre perderci del tempo ogni volta che vogliamo fotografare. Ma neanche questo è sufficiente, e qui arriviamo al nocciolo della questione, allo spauracchio di ogni aspirante astroimager del cielo profondo. Nessuna montatura, infatti, neanche quelle dei professionisti, riesce a inseguire perfettamente un campo stellare per più di poche decine di secondi. La natura di questa imprecisione intrinseca è da ricercare nella limitata precisione della meccanica della montatura. Per quanto si riescano a costruire ingranaggi perfetti ed elettroniche ineccepibili, nessuna montatura equatoriale riesce a inseguire perfettamente le stelle. Prendiamone quindi atto e cerchiamo una soluzione a questo enorme problema, altrimenti otterremo sempre immagini con le stelle mosse.

La soluzione è già stata trovata da molti anni (fortuna nostra!) e si chiama guida, che se fatta fare in automatico a un computer prende il nome di autoguida.

A prescindere dalle differenze tra guida e autoguida, questo termine ha un significato ben preciso: qualcuno (l'astrofotografo)

o qualcosa (il computer) deve controllare l'inseguimento della montatura in tempo reale durante l'acquisizione delle immagini a lunga esposizione e correggere le imperfezioni prima che si rendano visibili nella posa che stiamo effettuando. Sembra semplice, ma in realtà è qui che risiede il 99% delle difficoltà dell'astroimager.

Guida manuale

Ai tempi della pellicola, o se come me non si dispone per molto tempo delle risorse sufficienti per assemblare un efficiente sistema di autoguida, il controllo dell'inseguimento si fa(ceva) a mano.

La guida manuale è economica, ma meno precisa e molto più stressante dell'autoguida, eppure può rappresentare la salvezza in qualche caso e di certo ci aiuta a capire sulla nostra pelle quanto è difficile far inseguire bene le stelle a qualsiasi montatura.

Per controllare il perfetto inseguimento delle immagini, ci serve un secondo strumento montato in parallelo al telescopio che farà le riprese. Inserito un oculare dall'elevato ingrandimento, almeno 2-300 volte, magari dotato di un reticolo come quello dei cercatori del telescopio, dobbiamo agire delicatamente sulla pulsantiera di controllo dei motori della montatura affinché la stella rimanga sempre dentro il crocicchio, e sperare che la precisione sia sufficiente a non far vedere il mosso nella foto che stiamo scattando. Questa tecnica può essere attuata con tutte le montature dotate di motorizzazione, anche le più semplici, a patto che siano sufficientemente robuste da non vibrare quando si muovono i motori. La precisione, per quanto possiamo essere bravi e pazienti, è limitata. Per mia esperienza personale, non sono mai riuscito a guidare correttamente immagini riprese con telescopi con focale maggiore di 400 mm, accoppiati alle classiche reflex digitali. Non ho ancora menzionato lo stress a cui si è sottoposti e l'interminabile lunghezza di una posa da 5 minuti quando dobbiamo stare immobili all'oculare e fare piccolissime correzioni ogni pochi secondi e, forse, meglio se non ci penso troppo altrimenti mi tornano in mente brutti ricordi!

In definitiva, se vogliamo imparare e siamo ansiosi di capire se ci piace effettuare riprese deep sky tanto da investirci più denaro, la guida manuale può andare bene, ma non è una tecnica sostenibile sul lungo periodo temporale.

L'autoguida

La guida automatica, detta autoguida, è un'invenzione moderna che ha migliorato moltissimo la vita di tutti gli astroimager del profondo cielo. Ci sono tre modi per fare autoguida, ma prima di scoprirli meglio essere chiari: non tutte le montature supportano questa funzione. Per fare autoguida serve una seconda camera di ripresa, spesso una videocamera da poche centinaia di euro, che però è dotata di una caratteristica fondamentale: la porta ST-4. Con questo nome strano si identifica ormai lo standard attraverso il quale la camera di ripresa viene collegata direttamente alla montatura del telescopio e ne controlla i movimenti mentre il telescopio principale riprende la nostra agognata foto. Ne consegue che anche la montatura equatoriale debba possedere la porta per l'autoguida con standard ST-4.

Questo restringe il campo delle montature disponibili. Nella fascia economica, tutte le montature equatoriali dotate di GOTO (puntamento automatico) possiedono la porta ST-4, come ad esempio le montature EQ3.2, HEQ5, EQ6 bianche con puntamento SynScan. Quelle dotate di semplice pulsantiera per il solo movimento dei motori spesso non possiedono la porta ST-4. In ogni caso, meglio chiedere al commerciante se dovremo comprare una montatura in grado di fare autoguida. Per vedere se il nostro supporto ce l'ha già, questa ha la tipica forma della porta presente sul telefono fisso alla quale si collega il cavo telefonico.

Alcuni volenterosi astrofili sono in grado di inserire una specie di porta autoguida anche su montature che ne sono sprovviste, ma questa operazione richiede manualità e un po' di

conoscenza di schemi elettronici.

Autoguida e computer

La camera adibita al controllo dell'inseguimento si interfaccia direttamente alla montatura attraverso la porta ST-4, ma deve collegarsi anche a un computer sul quale verranno scaricate le immagini. Un software apposito controllerà i movimenti e invierà alla montatura gli impulsi per correggere le esposizioni. Ne consegue, quindi, che se vogliamo autoguidare dobbiamo portarci sul campo anche un computer portatile. Oltre al costo, questo rappresenta anche un limite perché ovunque andremo avremo a che fare con cavi di varia natura e di una discreta fonte energetica per far funzionare tutto l'apparato. Molti astrofili sono equipaggiati con batterie da auto in grado di far funzionare sia la montatura che il computer, che le camere di ripresa. Altri, invece, considerano portarsi dietro il computer un'inutile rottura e allora propendono per una seconda soluzione: una camera di guida stand-alone. Con questo termine si intende qualsiasi camera di guida in grado di fare il suo lavoro senza l'ausilio di un computer. Un po' più costose e meno precise delle altre, hanno l'indubbio vantaggio di evitare pesi, cavi e il costo di un portatile. Sul mercato attuale sono due le camere stand-alone che sembrano svolgere bene il proprio lavoro: Lacerta e LVI.

Quale scegliere, quindi? Camera di guida semplice o stand-alone? A meno di non aver una profonda avversione per computer e cavi collegati, è sempre meglio autoguidare con una camera che si collega al notebook perché, oltre a una precisione maggiore, avremo il controllo della situazione e potremo cercare di risolvere gli inevitabili problemi che sorgeranno durante la serata.

Come si fa autoguida

Come accennato tante righe sopra, ci sono tre metodi per fare autoguida, cioè per collegare la camera di ripresa allo strumento. Eccoli qui:

Telescopio di guida

Il primo, forse più semplice, è quello già visto: uno strumento in parallelo a quello che fa le riprese, a cui ora collegheremo la camera per l'autoguida, lasciando riposare il nostro occhio. La precisione delle autoguide è notevolmente superiore a quella dell'occhio umano, quindi di solito non sono necessari grossi telescopi o elevatissimi ingrandimenti.

La camera di guida va inserita al fuoco diretto del telescopio di guida, lasciando che sia la focale a determinare l'ingrandimento, o, meglio, la scala dell'immagine. Senza addentrarci troppo nei dettagli, una regola pratica afferma che la focale di guida debba essere almeno la metà di quella di ripresa, ma meglio aumentarla e utilizzare una focale di guida non troppo diversa da quella con cui si riprende. Il telescopio di guida può essere anche un economicissimo rifrattore da poche decine di euro, o, come fanno alcuni, un vero e proprio cercatore.

Gli inconvenienti di un setup del genere sono due, uno ben visibile, l'altro meno, e più subdolo. Mettendo in parallelo allo strumento principale un altro telescopio, con supporti e anelli facili da reperire presso i rivenditori di telescopi, andiamo a caricare la montatura che potrebbe perdere la necessaria stabilità per effettuare pose perfettamente guidate. L'altro inconveniente è rappresentato da due parole che sono l'incubo di tutti gli astroimager: flessioni differenziali. Se il telescopio di guida non è fissato in modo super robusto allo strumento principale, può

accadere che durante le pose questo fletta leggermente. Il risultato è disastroso: l'autoguida svolge perfettamente il proprio lavoro ma le pose del telescopio principale saranno comunque strisciate.

Le flessioni differenziali possono verificarsi se lo strumento di guida non è fissato bene o anche per altre cause, come una leggera flessione del tubo o, se si utilizzano telescopi a specchi, per la ripresa o per la guida, in conseguenza di un loro leggero movimento.

Insomma, la morale della favola è questa: il telescopio di guida in parallelo va bene quando entrambi gli strumenti sono rifrattori, se sono ben fissati, se i tubi non sono fatti di plastica e se non riprendiamo a focali superiori a 1 metro.

Guida fuoriasse

In tutti gli altri casi, la scelta forse più saggia è rappresentata dalla guida fuori asse, un accessorio che consente di sfruttare, sia per la ripresa che per la guida, lo stesso strumento. Il cuore di una guida fuori asse è un piccolo prisma che ha il compito di intercettare parte della luce diretta verso il sensore di ripresa e convogliarla a 90°, dove si troverà la camera di guida. In un solo colpo sparisce quindi il telescopio di guida, le flessioni, i movimenti degli specchi, il sovraccarico della montatura. Sembra tutto oro, ma non è così. La guida fuori asse presenta anche degli svantaggi. La camera di ripresa e di guida condividono campi collegati e se non troviamo una stella di guida nel sensore, dobbiamo per forza di cose cambiare inquadratura spostando l'oggetto di ripresa o ruotando la guida. In generale, una stella di guida si trova nel 99% dei casi, a meno di non disporre di una camera di guida poco sensibile.

In definitiva, se dovessimo scegliere la guida fuori asse, consigliata per tutti i riflettori e catadiottrici, assicuriamoci due cose: che sia adatta al nostro strumento (i problemi potrebbero sorgere solo per i telescopi newtoniani che hanno un fuoco molto corto) e che sia di buona qualità. Mi è capitato di provare guide fuori asse molto semplici ed economiche e spesso dopo qualche minuto di prova sono state letteralmente scaraventate a decine di metri dallo strumento per l'esasperazione.

Qui sopra una classica guida fuori asse a cui sono già collegate la camera di guida (in alto) e quella di ripresa (a destra). Questo è un accessorio molto comodo e quasi indispensabile quando utilizziamo telescopi riflettori o catadiottrici per le nostre riprese.

Doppio sensore

Non sempre è necessario disporre di una camera per l'autoguida esterna e indipendente per controllare il corretto inseguimento della montatura. Alcune camere CCD amatoriali possiedono al loro interno due sensori: uno adibito per l'imaging, l'altro, con pixel generalmente più piccoli, per il controllo della guida. Questo sistema è di una precisione e praticità unica perché evita la spesa per una seconda camera e l'acquisto di un telescopio di guida o una guida fuori asse, ma solamente una marca costruisce camere CCD astronomiche dotate di doppio sensore: la SBIG. Ne consegue che per guidare con il doppio sensore dobbiamo per forza di cose acquistare una camera SBIG, tra le migliori del mercato amatoriale, ma di certo non economiche. Altri svantaggi del doppio sensore sono simili a quelli della guida fuori asse, come la difficoltà, a volte, di trovare nel campo ripreso stelle di guida, problema aggravato nel caso in cui dovessimo utilizzare filtri a banda stretta. In questo caso, infatti, anche il sensore di guida viene coperto dal filtro e trovare stelle di guida abbastanza luminose può diventare un'impresa.

Il consiglio è che se il nostro ambito principale sono le riprese delle nebulose con filtri a banda stretta, meglio orientarsi verso le guide fuori asse o il telescopio in parallelo.

Gli astroimager più bravi e con la migliore strumentazione scelgono spesso proprio la strada del doppio sensore, soprattutto se amano riprendere le galassie.

Software per l'autoguida

A meno di non aver scelto una camera stand-alone, tutte le camere di guida necessitano di un software per computer.

Ecco, altre spese in vista, si potrebbe pensare, ma per fortuna alcuni software sono gratuiti e non richiedono un centesimo. Uno dei migliori si chiama PHD guiding, liberamente scaricabile a questo indirizzo: http://www.stark-labs.com/phdguiding.html . Anche IRIS, programma che dovremmo conoscere per le elaborazioni planetarie, consente di fare autoguida, ma come al solito è un po' macchinoso. Tra i software a pagamento, Maxim DL è particolarmente utile per gestire le camere con doppio sensore. Una ricerca su internet ci consentirà di scoprire anche altri programmi, gratis o a pagamento.

Quale montatura?

Per quanto riguarda la scelta delle montature, se non vogliamo alleggerire troppo il portafogli e cominciare a divertirci lo stesso, la EQ6 rappresenta un ottimo compromesso ed è sfruttabile anche con strumenti Newton da 25 centimetri, quindi dal peso orientativo pari a 13-15 kg.

La sorella minore HEQ5 invece ha un carico fotografico utile di circa la metà, per questo motivo è adatta per setup leggeri composti da rifrattori apocromatici (o ED) di circa 80 mm e focali non superiori ai 700 mm.

Per un setup ultratrasportabile, c'è anche la EQ3.2 ,che nella versione con GOTO possiede la porta autoguida ST-4. Molto leggera, è adatta per riprendere con telescopi di 60-80 mm e focali attorno ai 400 mm.

Tecnica di ripresa

Scegliendo accuratamente il proprio setup, dalla camera di ripresa a quella per la guida, abbiamo costruito un potenziale che dovremo sfruttare sul campo.

La tecnica di ripresa, in breve, è composta da cinque passaggi fondamentali e non tutti si effettuano direttamente sul campo:

1) Programmazione delle riprese;
2) Stazionamento e bilanciamento della montatura;
3) Corretta messa a fuoco;
4) Ripresa delle immagini di calibrazione;
5) Calibrazione autoguida e ripresa delle immagini deep-sky.

Andiamo con ordine, cominciando dal primo punto:

Programmazione delle riprese

Una serata dedicata alle riprese deep-sky richiede programmazione accurata. Dobbiamo scegliere i soggetti, o il soggetto, capire se entra nel campo di ripresa e quanta esposizione dedicargli.

Ecco allora qualche consiglio rapido e diretto:

- Di solito una buona fotografia richiede un'esposizione complessiva di almeno 2-3 ore, soprattutto per galassie e nebulose. Gli ammassi stellari richiedono meno tempo. In definitiva, non dobbiamo avere fretta; meglio fare pochi soggetti ma buoni invece che tanti ma granulosi. Ci sono astroimager che dedicano a un oggetto diverse serate. Noi siamo agli inizi e questo forse è un sacrificio troppo grande, quindi arriviamo a un compromesso: un oggetto a sera, oppure un oggetto debole a cui dedicare almeno 2-3 ore e un ammasso stellare (aperto o globulare) che si accontenta di una mezz'ora complessiva di pose;
- Meglio fare una singola esposizione di 2 ore o tante di durata minore? Sembra ombra di dubbio è preferibile questa seconda opzione. Le immagini deep-sky sono sempre la media di esposizioni più brevi, ma non troppo. Il tempo di esposizione delle singole riprese dipende dallo stato del cielo e dal sensore di ripresa. Con le reflex le singole esposizioni vanno dai 5 ai 10 minuti, mai oltre a causa del rumore del sensore. Con le camere CCD, se abbiamo un cielo scuro possiamo arrivare anche a 15-20 minuti. Se riprendiamo in banda stretta possiamo spingerci anche a 30 minuti, tanto se l'autoguida

funziona a dovere, 10 o 30 minuti non cambiano il risultato in termini di puntiformità dell'immagine. Una regola molto importante per scegliere il tempo di esposizione delle singole immagini è la seguente: il tempo ottimale è quello per cui il fondo cielo comincia ad avere una luminosità apprezzabile, senza naturalmente che saturi il sensore. Quando la luminosità del fondo cielo inizia ad aumentare, siamo arrivati a quello che si chiama tempo di saturazione; da questo punto in poi non guadagneremo più in profondità perché anche il fondo cielo salirà di luminosità con l'aumentare del tempo di esposizione;

- Pensare a tutto quello che potrebbe andare storto nella serata. Se ci spostiamo lontano da casa meglio portarsi batterie aggiuntive, una cassetta degli attrezzi, un phon da viaggio che ci potrebbe servire per spannare le ottiche in caso di umidità, persino una paratia per ripararsi dall'eventuale vento. Una regola aurea afferma che se qualcosa può andare storto, allora lo farà. Il confine tra successo e fallimento dipende da quanto siamo preparati e pazienti nell'affrontare le situazioni critiche.

Ecco quanto cambia il risultato tra una posa singola di 5 minuti, a sinistra,

e la somma di 18 pose da 5 minuti, a destra. Nessuna delle immagini è stata elaborata. Si può notare evidente il cambiamento. La somma di molte immagini è sempre preferibile, anche rispetto a una singola posa di pari durata. E' certo però che la singola esposizione debba essere abbastanza lunga da far risaltare la naturale luminosità del fondo cielo. Solo così saremo sicuri di aver sfruttato in pieno le possibilità del nostro sito osservativo.

Dello stazionamento della montatura abbiamo già parlato e non credo che servano dettagli aggiuntivi, se non un'avvertenza: se il cannocchiale polare è ben allineato, uno stazionamento con questo metodo è più che sufficiente per i nostri scopi, tanto ci sarà l'autoguida a correggere piccole imprecisioni.

Anche del bilanciamento non c'è molto da dire, solo da ricordare quanto è importante. Per farlo nel migliore dei modi bisogna montare tutto il setup come se fosse pronto per fare le riprese, togliere i tappi alla strumentazione e bilanciare il tutto con una precisione maniacale, almeno così recita la teoria. Vedremo che forse a volte un leggero sbilanciamento potrebbe essere necessario.

La messa a fuoco

È forse l'operazione più importante in questa fase e anche la più noiosa e difficile.

Contrariamente ai pianeti, qui le immagini non si susseguono a diversi fotogrammi al secondo ma hanno una frequenza che nel migliore dei casi è di una immagine ogni secondo, senza tenere presente che spesso le immagini da mettere a fuoco sono molto deboli.

I consigli sono pochi ma buoni:

- Se possediamo una reflex digitale con la funzione live-view allora puntiamo una stella luminosa, attiviamo l'opzione che ci fa vedere sullo schermo in diretta l'immagine, ingrandiamola al massimo e facciamo il fuoco, facendo attenzione a non spostare nulla quando poi punteremo l'oggetto da riprendere;

- Se possediamo una reflex non dotata di live-view, le cose si complicano perché focheggiare correttamente guardando dal mirino è impossibile. In questi casi di deve per forza di cose collegare la macchina fotografia al computer e fargli scaricare continuamente le immagini appena scattate. Non sappiamo quale programma usare? Se abbiamo una Canon c'è EOS Utility nel CD fornito, in alternativa questo software, chiamato BackyardEOS è studiato appositamente per applicazioni astronomiche, anche se è a pagamento: http://www.backyardeos.com/ .

- Se possediamo una reflex senza live-view allora siamo in mezzo a una strada. Dovremo focheggiare traguardando il mirino, fare una posa di prova, controllare sullo schermo se è a fuoco e nel caso in cui non lo fosse (molto probabile) muovere leggermente il focheggiatore in una direzione, scattare un'altra

foto di qualche secondo e vedere se le cose sono migliorate. Si va avanti per tentativi fino a quando non troveremo il punto di fuoco e ci si renderà conto che la prossima volta verremo con un computer e con la camera collegata al computer!

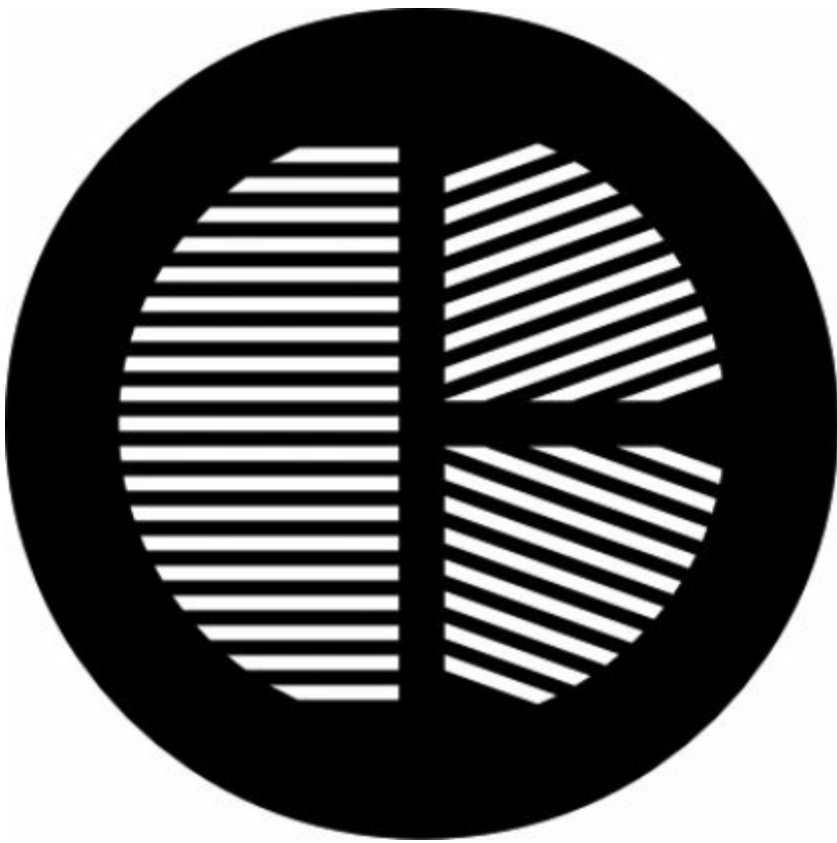
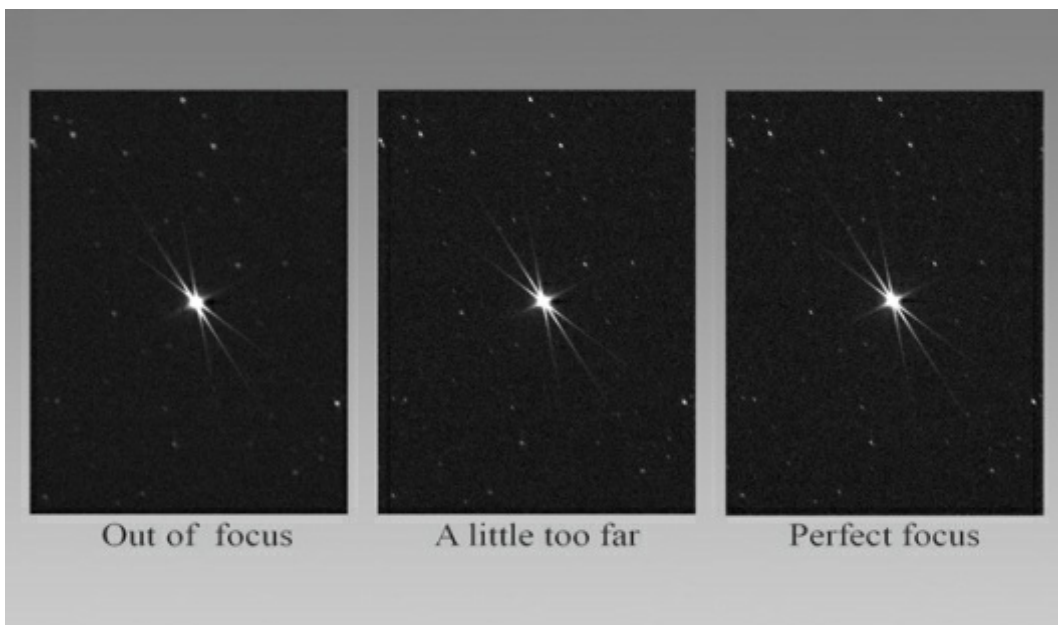
- Se abbiamo una camera CCD basta far scattare al programma che la gestisce (MaximDL è ottimo, come pure Astroart, o CCDOps, ma solo per le camere SBIG) una sequenza continua di esposizioni brevi (1 secondo o meno) e osservando lo schermo del computer muovere lentamente il focheggiatore fino a quando non otteniamo una puntiformità accettabile.

A prescindere dal modo in cui facciamo il fuoco, l'operazione può richiedere diversi minuti perché a complicare le cose ci si può mettere anche il seeing che crea un'impressione di sfocatura. Ci sono allora un paio di tecniche molto utili per dirci se l'immagine di una stella è a fuoco o meno:

- La maschera di Hartmann è un coperchio da mettere di fronte al telescopio di ripresa, generalmente auto costruito, che presenta tre o quattro fori di limitato diametro. Quando anteponiamo al telescopio questo speciale tappo accade una specie di magia: se l'immagine è sfocata, anche di poco, la vedremo sdoppiata. Le figure, tante quanti sono i buchi che possiede la nostra maschera, si uniscono perfettamente solo quando abbiamo raggiunto la messa a fuoco;

La maschera di Hartmann è un tappo su cui sono praticati tre o quattro fori che permette di raggiungere il fuoco in modo più semplice.

- La maschera di Bahtinov si basa su un principio simile. Anche questa è un coperchio che però presenta una griglia piuttosto complessa. Anteponendolo al telescopio di ripresa, le immagini stellari risulteranno avvolte da dei picchi luminosi. Quando l'immagine è perfettamente a fuoco, questi picchi saranno perfettamente simmetrici e taglieranno il centro della stella in parti uguali. Sembra meno intuitiva della maschera di Hartmann, ma le immagini fornite dalla maschera di Bahtinov hanno il vantaggio di poter essere analizzate da un apposito software, Bahtinov Grabber, scaricabile qui: http://www.njnoordhoek.com/?p=660 che ci dirà, con grande precisione, quando saremo a fuoco. Le maschere di Bahtinov si possono comprare a pochi euro o costruire per il proprio telescopio con del cartoncino, seguendo lo schema che viene generato da questa applicazione online:

http://astrojargon.net/MaskGenerator.aspx

La maschera di Bahtinov è una griglia da posizionare di fronte al telescopio e consente di raggiungere una messa a fuoco molto più semplice e precisa.

La maschera di Bahtinov produce sulle stelle luminose dei raggi. Quando l'immagine è perfettamente a fuoco, i raggi sono perfettamente simmetrici e si incontrano nel centro, come nell'immagine a destra.

I frame di calibrazione

Montatura stazionata, bilanciata e fuoco fatto. Si potrebbe pensare che sia tutto pronto per riprendere, ma forse non ancora. Questa fase si potrebbe effettuare anche dopo le riprese o anche per niente, sebbene non sia consigliato. Io la metto qui, nel mezzo della trattazione, sperando che non venga ignorata come invece fanno troppi astroimager.

I frame di calibrazione sono particolari immagini riprese in determinate condizioni che verranno poi utilizzati per correggere le singole esposizioni che faremo durante la serata.

Senza andare troppo nei dettagli, tutte le immagini che riprendiamo con una camera digitale soffrono di due grandi problemi: la presenza di punti luminosi, il cosiddetto rumore termico, che diventa tanto più evidente quanto più lunga è la posa e/o più caldo è il sensore. Il rumore termico è molto evidente quando si superano i 5 minuti di esposizione e affligge sia le reflex che le camere CCD. Per diminuirlo le camere progettate per scopi astronomici possiedono un sistema di raffreddamento, ma neanche questo lo elimina. Per togliere il rumore termico bisogna riprendere i:

Dark frame: immagini in cui il sensore (o il telescopio) è completamente coperto che devono avere la stessa durata dei singoli scatti al cielo ed essere ripresi alla stessa temperatura. I CCD più avanzati possiedono un sistema per controllare la temperatura, quindi i dark frame possono venir ripresi sempre, anche a distanza di qualche giorno. Se non abbiamo il controllo della temperatura, è necessario riprendere qualche dark frame all’inizio, a metà e alla fine della serata. Mediandoli avremo un dark frame finale sufficientemente preciso. In ogni caso, un buon

dark frame, detto master dark frame, è la media, meglio, la mediana, di almeno 5-7 immagini di dark frame, ognuna delle quali deve essere ottenuta al buio completo, avere la stessa durata e temperatura delle singole esposizioni agli oggetti deep-sky. Ecco perché è meglio programmare la serata, in particolare decidere a priori i tempi di esposizione delle riprese.

Un altro difetto delle riprese digitali riguarda invece le proprietà dell'intero setup. Con molti telescopi sarà presente il fenomeno ella vignettatura, una fastidiosa caduta di luce ai bordi. Il fondo cielo non sarà più uniforme ma avrà delle strani dominanti esteticamente orribili. A peggiorare la situazione ci si possono mettere anche piccoli granelli di polvere vicini al sensore che assumeranno la forma di scure ciambelle. In questi casi è d'obbligo, ancora più del caso precedente, riprendere i:

Flat field: immagini di una superficie uniformemente illuminata e priva di stelle che hanno lo scopo di mettere in evidenza tutti i difetti del setup. I flat field sono molto diversi dai dark frame. Non è richiesto che l'esposizione sia la stessa delle immagini di luce, né che abbiamo la stessa temperatura. È richiesto che venga ripreso con la corretta esposizione uno sfondo uniformemente illuminato, con la stessa identica configurazione con cui andremo a riprendere le immagini (o con cui le abbiamo riprese). Il flat field quindi, si deve fare con gli stessi filtri, la stessa orientazione della camera, persino con la stessa posizione del fuoco con cui abbiamo intenzione di correggere le immagini riprese. Se facciamo l'errore di cambiare orientazione alla camera durante la ripresa, o cambiare un filtro, i flat field cambiano inevitabilmente. Non è quindi possibile farli in un secondo momento. Un altro problema riguarda lo schermo luminoso: dove lo troviamo? In commercio si trovano a poche

decine di euro degli schermi luminosi per fare i flat field, dei tappi luminosi da mettere di fronte al telescopio. In alternativa, si possono usare dei fogli da disegno spessi con cui coprire il telescopio e fotografare il cielo al tramonto o all'alba nei pressi dello zenit. Se non vogliamo aspettare, possiamo puntare sul foglio bianco una torcia a led da qualche metro di distanza. Se abbiamo le reflex digitali, l'esposizione corretta la fa la macchina fotografica: basta riprendere agli ISO più bassi possibili e impostare la programmazione automatica. Se abbiamo un CCD, l'esposizione migliore si trova quando il picco di luminosità dell'immagine ha valori attorno a 30.000 ADU sui 65.000 disponibili. Come per i dark, un buon flat field deve essere la media (non la mediana) di almeno 15-20 singole immagini di flat field.

Qualche astroimager riprende anche i bias frame, delle immagini al buio con il tempo di esposizione più breve possibile, ma questa fase è una questione di lana caprina per i nostri scopi e, inoltre, se i dark frame sono ripresi esattamente alla stessa temperatura delle immagini di luce, i bias frame sono del tutto inutili.

Per ora siamo apposto così, di come usare questi frame di calibrazione ce ne occuperemo nel prossimo volume.

Calibrazione dell'autoguida

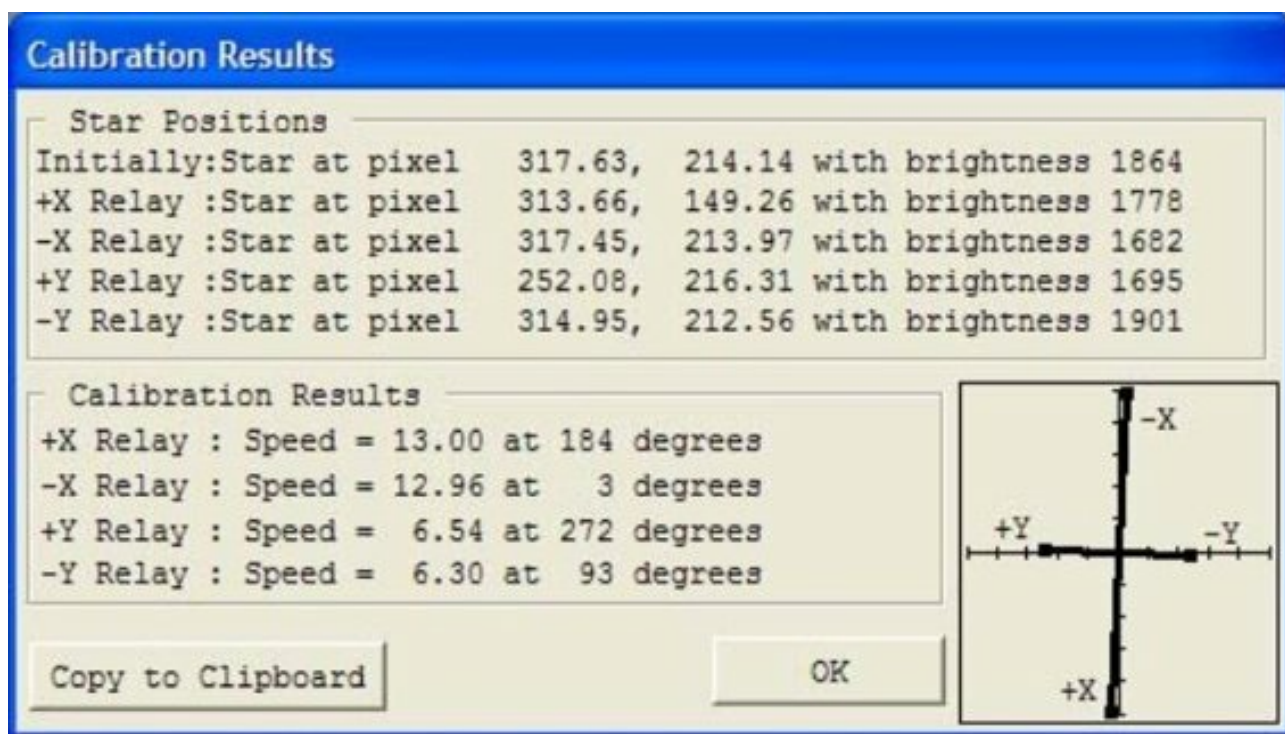
Siamo quasi arrivati al termine della preparazione. Puntiamo l'oggetto che vogliamo riprendere, curiamo bene l'inquadratura, accendiamo la camera di guida, facciamo un'esposizione da un paio di secondi e speriamo di trovare qualche stella. Mettiamo a fuoco anche la sua immagine (ma senza perderci troppo tempo) e siamo pronti per la procedura di calibrazione. In questa fase il computer muoverà la montatura di pochi secondi d'arco in ascensione retta e declinazione per capire l'orientazione dell'immagine e la velocità con cui si sposta. Ci sono programmi, come PHD Guiding, che provvedono a fare tutto da soli senza che l'utente immetta dei dati, altri, come Maxim DL, consentono di variare molti più parametri se qualcosa non dovesse andare bene. È in queste circostanze che possono nascere problemi. Prima di tutto meglio impostare la velocità di guida al minimo. Nelle pulsantiere SynScan è impostabile a 0,125X nel menu "Setup".

Proviamo a calibrare la guida con i parametri di default del programma e vediamo cosa succede. Se va a buon fine un messaggio ce lo comunicherà e vedremo, durante la calibrazione, la stella muoversi nelle quattro direzioni in cui dovrebbero muoversi i motori del telescopio.

Se la calibrazione non va a buon fine possiamo cambiare, se possibile, alcuni parametri, tra cui il tempo di movimento degli assi o la declinazione approssimata della stella che alcuni programmi, come Maxim DL, richiedono.

Se si nota che i movimenti sono difficoltosi in una direzione (quasi sempre sull'asse di declinazione), allora potremo avere dei problemi di backlash, un termine brutto che identifica un'altrettanto brutta situazione: tra l'ingranaggio che muove

l’asse di declinazione e l’asse stesso c’è un piccolo gioco che fa girare a vuoto il motore per qualche secondo. E’ un problema serio che dovrebbe essere rimosso alla fonte, facendo una revisione alla montatura. Se vogliamo provare a risolverlo sul campo, abbiamo invece due strade: sbilanciare leggermente il tubo sull’asse di declinazione in modo che sia sempre “in tiro”, oppure, meglio, spostare leggermente l’asse polare della montatura allontanandolo di circa mezzo grado dal polo nord celeste. In questo modo, anche se abbiamo un problema di gioco e la calibrazione sembra avere problemi, freghiamocene. Nella fase di guida, poiché il computer dovrà correggere sull’asse di declinazione sempre nella stessa direzione, il gioco sparirà presto e non si presenterà più. Questa è comunque una situazione temporanea che non risolve il problema, quindi meglio far revisionare la montatura prima possibile.

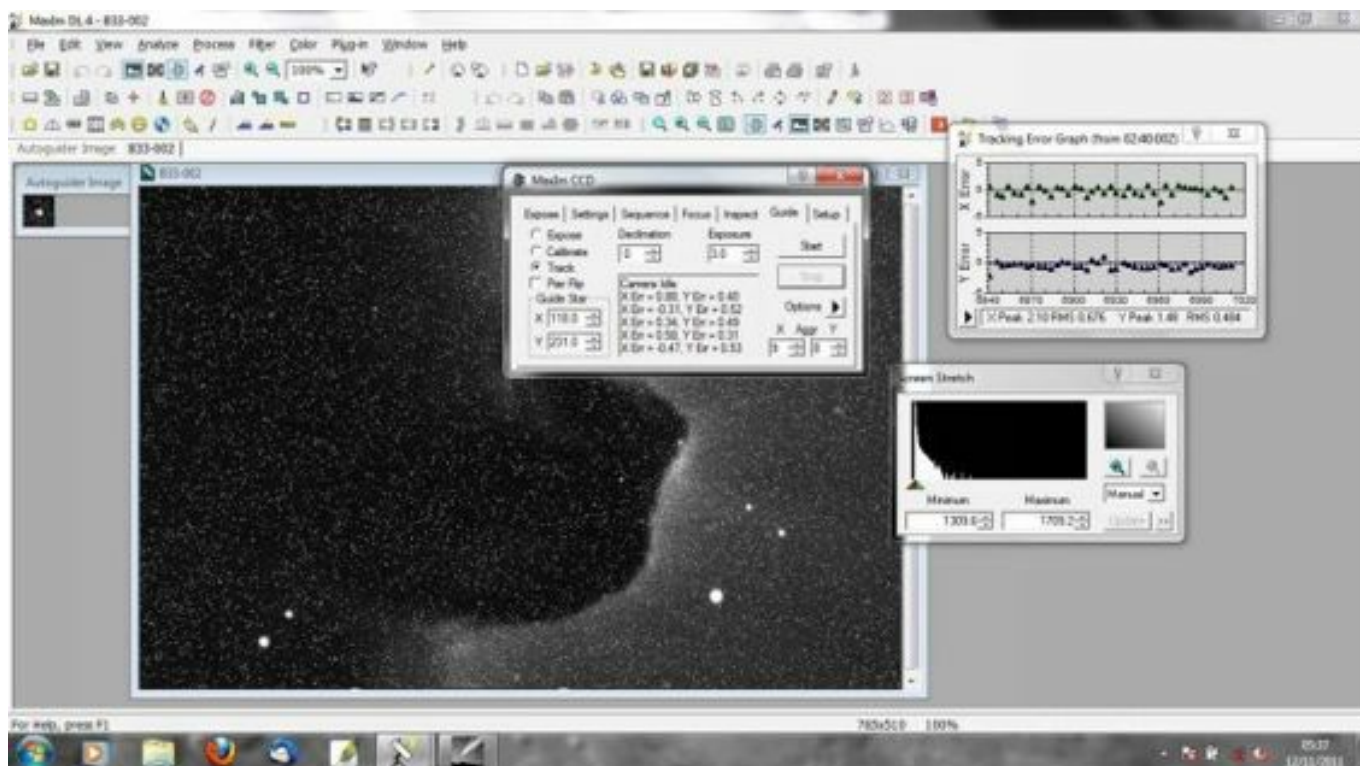
Alcuni software al termine della calibrazione fanno vedere la direzione degli assi in cui si è mossa la stella. Questo grafico è utile per evidenziare un altro problema: se gli spostamenti non sono stati perpendicolari tra di loro, vuol dire con molta probabilità che abbiamo un grave problema di sbilanciamento che dovremo risolvere.

Il programma CCDOps, fornito gratuitamente con le camere SBIG, al termine della calibrazione della guida fa vedere anche come sono orientati gli assi. In questo caso la perfetta perpendicolarità e simmetria indica che la calibrazione è stata particolarmente efficace. Questo grafico è stato ottenuto con un Newton da 25 centimetri, camera SBIG ST-7XME e montatura EQ6.

Senza una precisa calibrazione della guida non può partire la nostra serata astrofotografica, quindi armiamoci di pazienza e cerchiamo di risolvere gli eventuali problemi provando a cambiare errore, anche andando a tentativi. Se le proviamo tutte, prima o poi la combinazione giusta la troveremo!

Finalmente la ripresa!

Siamo arrivati in fondo, e abbiamo affrontato così tante situazioni che ora non c'è più molto da fare, né per me da dire. Con la guida calibrata e l'inquadratura scelta, non dobbiamo far altro che dare il via all'autoguida impostando tempi di esposizione tipici intorno ai 2 secondi. Tempi di correzione troppo brevi saranno influenzati dal seeing; d'altra parte tempi troppo lunghi potrebbero aver già subito l'effetto dell'inseguimento imperfetto. Diamo il via anche alle immagini del cielo e godiamoci, con un occhio al grafico dell'autoguida, la nostra vittoria personale e il meritato momento sotto al cielo stellato. Se riprendiamo con una reflex digitale dobbiamo regolare anche la sensibilità degli scatti, che dipende anche dallo stato del cielo e dalla temperatura esterna. In linea di principio, se la guida funziona bene, possiamo stare tra i 400 e gli 800 ISO; mai sopra e mai sotto. Ricordiamoci anche che tutti gli scatti vanno effettuati in formato grezzo (RAW) e non in Jpg.

Al termine della serata, prima di smontare la camera di ripresa o di inserire un filtro, ricordiamoci di fare i flat field se non li abbiamo già fatti. Con i fogli luminescenti ci si mette un paio di minuti e questo potrebbe fare la differenza tra un'ottima immagine e una schifezza.

Buone riprese a tutti!

Screenshot di una mia ripresa eseguita sulla nebulosa testa di Cavallo con un telescopio C9 ridotto a f6.3 e camera CCD SBIG ST-7XME dotata di doppio sensore. Da notare il grafico dell'andamento della guida, a destra, e gli errori, nel riquadro al centro. Quando si guida con una focale uguale a quella di ripresa e superiore a un metro, un grafico del genere può considerarsi molto buono. Gli errori massimi, infatti non sono mai superiori a un pixel, che alla scala dell'immagine del sensore di guida equivale a un errore di ±0,50". Se si guida con una focale minore, quindi un campionamento minore, il grafico dovrebbe appiattirsi ulteriormente.

Ricerca amatoriale

Alcune parti di questa sezione sono tratte dal libro "Astrofisica per tutti: scoprire l'Universo con il proprio telescopio".

Se siete ormai degli astrofotografi del cielo con una certa

esperienza e molta voglia di portare al limite la vostra strumentazione, magari affrontando qualche divertente ed emozionante progetto di ricerca, questa è la sezione che fa per voi. Qui, proprio come degli astronomi professionisti, partiremo alla scoperta di tutto quello che il nostro telescopio amatoriale, accoppiato ai moderni dispositivi di ripresa digitale, è in grado di regalarci oltre al mero imaging estetico. Sapete, ad esempio, che moltissime stelle variabili oltre la magnitudine 10 non sono ancora state scoperte? O che è possibile osservare la traccia di un pianeta extrasolare distante centinaia di anni luce mentre attraversa il disco della propria stella? Senza contare poi la possibilità di scoprire asteroidi, comete, supernovae, fenomeni particolari nelle atmosfere dei pianeti.

Insomma, qui, con pazienza, determinazione e curiosità si va in prima persona alla scoperta dell'Universo.

Introduzione alla spettroscopia amatoriale

Anteponendo uno spettroscopio tra il telescopio e la camera digitale di ripresa si apre il mondo vastissimo della spettroscopia. Sebbene in questo campo l'apporto degli amatori sia più limitato, la spettroscopia permette ad ogni astrofilo di comprendere i meccanismi di funzionamento di molti oggetti dell'Universo, attraverso lo studio e l'analisi degli spettri di sorgenti luminose quali il Sole, la Luna e alcune stelle.

Dallo spettro si possono ricavare preziose informazioni: velocità di rotazione solare, spettro di corpo nero, righe di assorbimento, abbondanze chimiche nelle atmosfere stellari e planetarie, redshift per effetto doppler e cosmologico di alcune sorgenti luminose.

Qualche nozione teorica

L'analisi della quantità di luce, eventualmente in funzione del tempo, è affidata alla fotometria. La scoperta di nuovi oggetti o la posizione di quelli già noti è affidata all'imaging, in particolare all'astrometria e timing.

L'analisi dell'intensità della luce in funzione della lunghezza d'onda spetta ad una disciplina chiamata spettroscopia.

Questa tecnica è ampiamente utilizzata dagli astronomi professionisti e si rivela assolutamente indispensabile per indagare a fondo alcuni importanti fenomeni: dalla composizione chimica delle stelle alla loro velocità di rotazione; dalla scoperta di pianeti extrasolari (effetto doppler) alla determinazione dell'espansione dell'Universo e delle scale di distanza (redshift

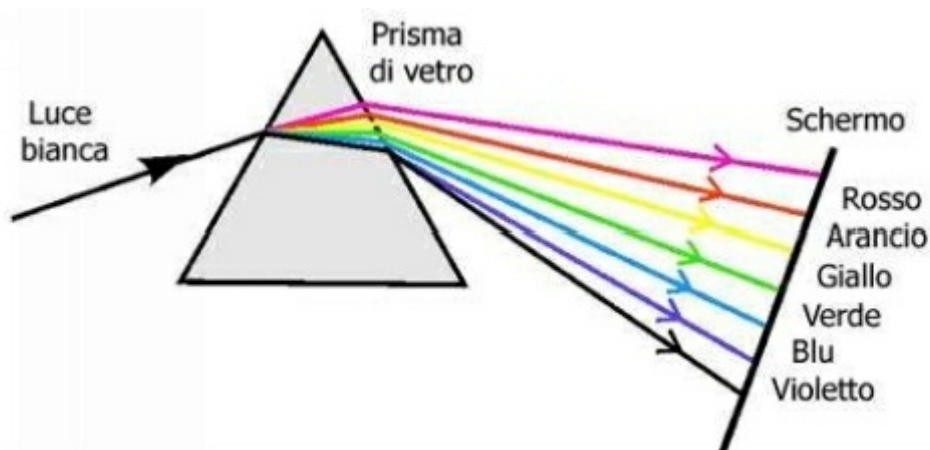
cosmologico).

Indagare a fondo tutte le applicazioni della spettroscopia è praticamente impossibile in poche pagine.

Piuttosto, vorrei soffermarmi brevemente sui principi di funzionamento e sulle applicazioni in campo amatoriale.

La spettroscopia studia lo spettro di qualsiasi sorgente luminosa.

Uno spettro è un diagramma che mostra la quantità di luce ricevuta in funzione della lunghezza d'onda.

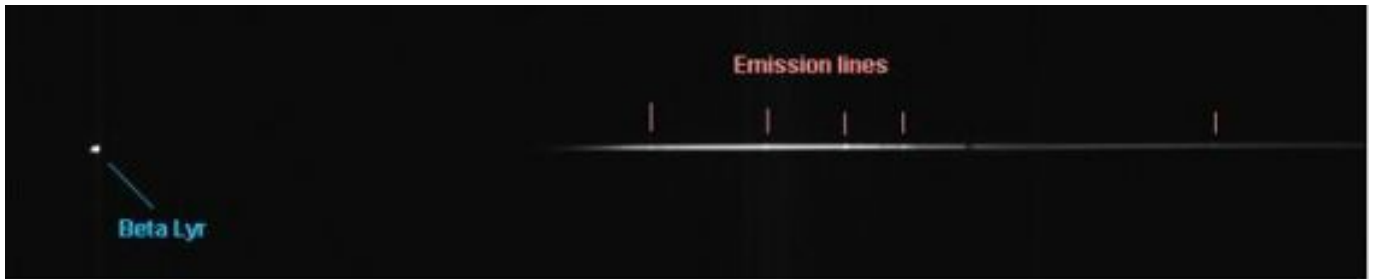
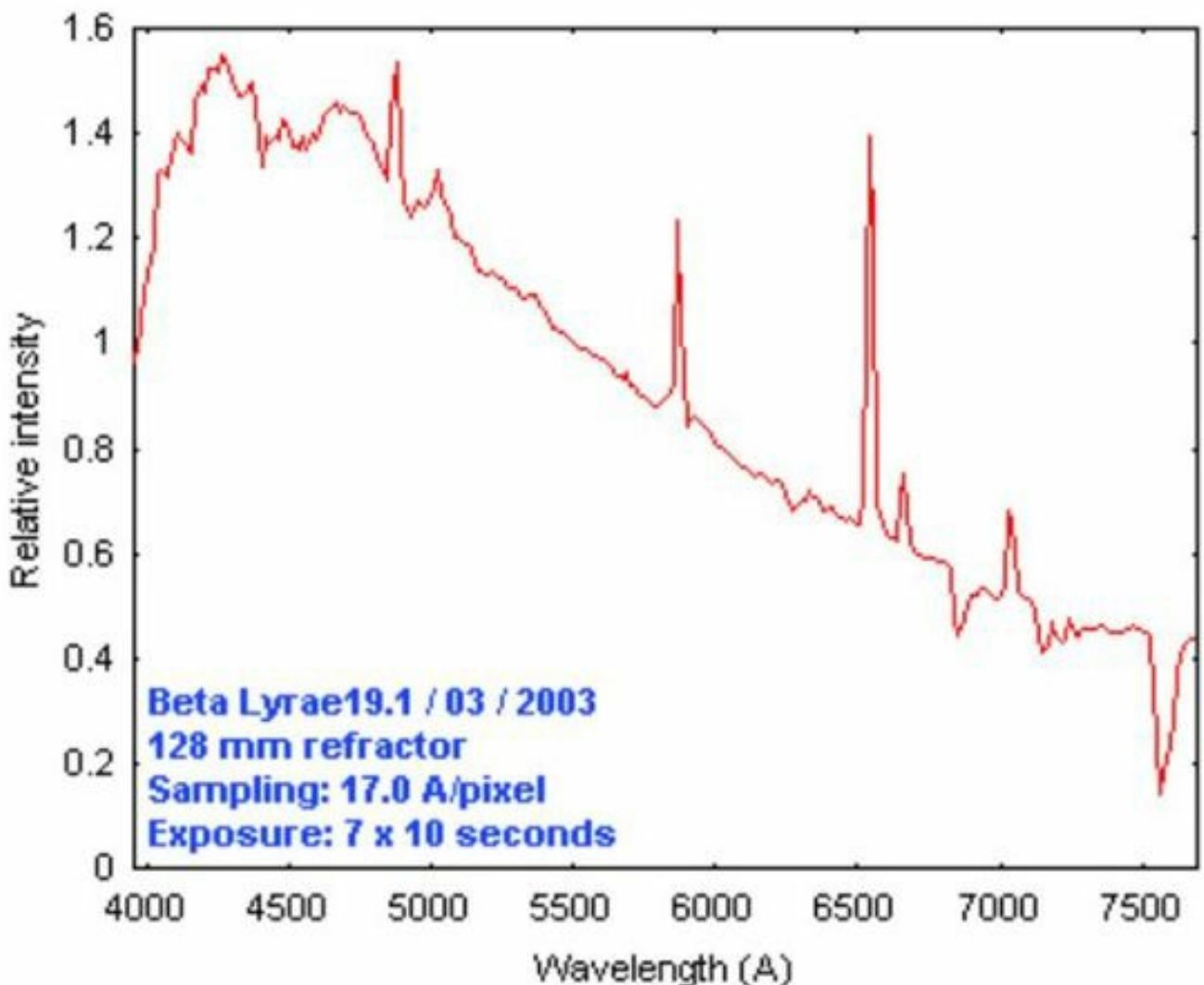
Un prisma o un reticolo di diffrazione hanno il compito di separare la luce proveniente dalla sorgente in tutte le sue lunghezze d'onda.

Un prisma è un tipico elemento dispersivo in grado di separare le varie lunghezze d'onda della luce. In astronomia si utilizzano ora dei reticoli di diffrazione, dal funzionamento diverso ma con risultati simili.

L'immagine viene registrata da un supporto digitale, convertita e calibrata, con dei semplici software, in un grafico dell'intensità luminosa in funzione della lunghezza d'onda (profilo spettrale).

Come sappiamo, la luce che giunge dagli oggetti del cielo è composta da varie lunghezze d'onda mescolate insieme.

Per vederle ed analizzarle occorrono degli strumenti che

separino spazialmente le singole lunghezze d'onda.

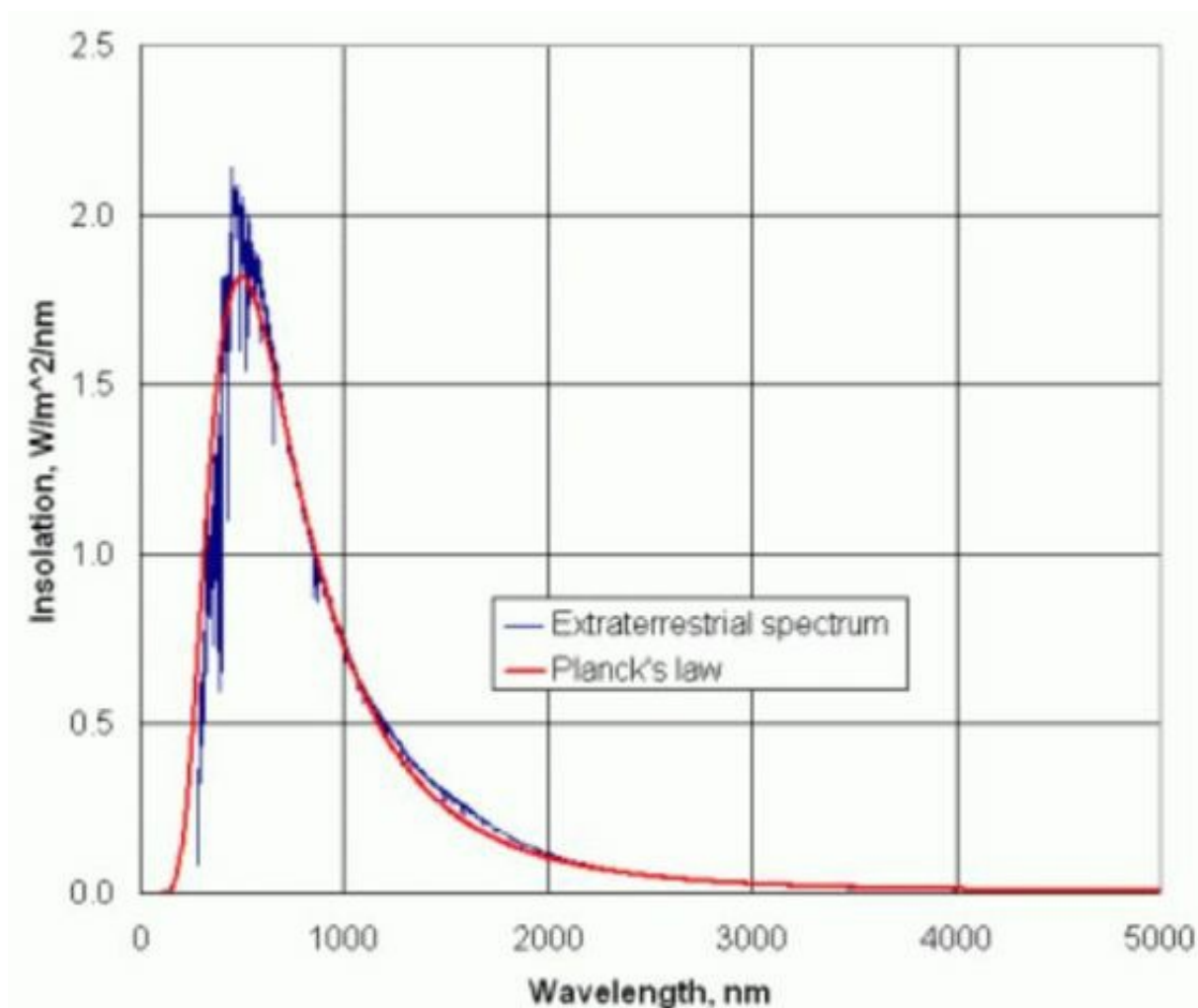
Questa funzione è svolta da dei prismi, grazie al fenomeno della dispersione, o da reticoli di diffrazione.

Lo spettro di una stella (Beta Lyrae) così come viene registrato da una camera digitale alla quale è collegato uno spettroscopio a reticolo.

Il profilo spettrale come appare dopo un'analisi quantitativa (e calibrazione) attraverso il computer. Per studiare quantitativamente l'andamento dell'intensità luminosa in funzione della lunghezza d'onda è fondamentale calibrare la strumentazione ed analizzare lo spettro mediante un grafico, come quello a sinistra.

Quando le singole lunghezze d’onda sono separate spazialmente, possiamo ricavare dallo spettro molte informazioni.

Processo di emissione e temperatura

Sappiamo che le stelle sono dei corpi neri e seguono la legge del corpo nero di Planck, per questo il profilo dell'intensità luminosa che riceviamo in funzione della lunghezza d'onda, lo spettro, deve avere la tipica forma di corpo nero.

Dallo studio della forma siamo in grado di determinare con precisione la temperatura con la legge di Wien:

$$T = 0{,}29/\lambda_{Max}.$$

Spettro reale di una stella (linea blu) sovrapposto a quello di un corpo nero ideale (linea rossa). Le stelle possono essere considerate con un po' di approssimazione dei corpi neri, ma in realtà il loro spettro è ricco di caratteristiche di "ordine superiore", come le linee spettrali (in assorbimento), impronte uniche degli elementi presenti nelle loro atmosfere.

Oltre alla temperatura, nello spettro stellare possiamo individuare molte altre caratteristiche, che lo rendono piuttosto irregolare e che ci forniscono altri elementi per studiare il corpo celeste che lo ha emesso.

Classi spettrali stellari

Un tipico spettro stellare, sebbene abbia una forma complessiva approssimabile a quella di un corpo nero ideale, mostra moltissime irregolarità, in particolare delle sottili linee meno brillanti delle zone circostanti, dette linee di assorbimento (molto raramente in emissione).

Un gas rarefatto freddo, posto di fronte ad una superficie più calda, assorbe luce a determinate lunghezze d'onda, producendo uno spettro a linee in assorbimento.

Se il gas è molto caldo (e non c'è uno sfondo brillante) allora diventa luminoso; le stesse righe che prima erano in assorbimento appaiono in emissione.

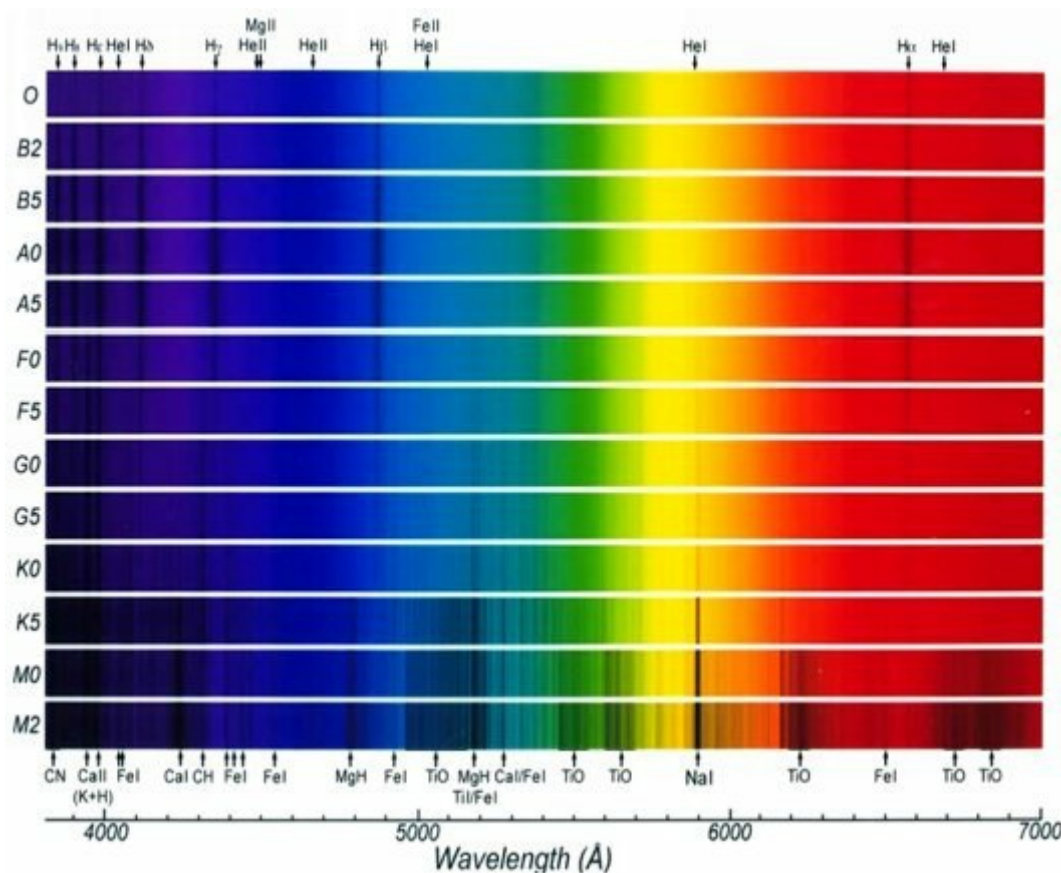
Affinché lo spettro a linee di un gas sia visibile, occorre che la sua densità sia ridotta. Quando la densità aumenta, le interazioni tra i singoli atomi producono distorsioni degli orbitali atomici. Lo spettro tende ad assumere una forma continua; si parla in questi casi di spettro in emissione continuo.

La presenza e la profondità delle righe è alla base della classificazione spettrale delle stelle, secondo lo schema già citato: O B A F G K M.

Analizzando, anche qualitativamente, le linee in assorbimento, siamo in grado di capire a quale classe appartiene la stella, potendo anche stimare il raggio, la massa, ed anche il suo stadio evolutivo.

Le stelle di tipo O sono caldissime, emettono uno spettro spostato verso le regioni ultraviolette e presentano poche righe in assorbimento, in quanto quasi tutti i gas nelle loro atmosfere si trovano in uno stato ionizzato completo e stabile (ricorda che una riga in assorbimento compare quando un elettrone di un atomo

assorbe un fotone, ma se l’elettrone è libero non vi è assorbimento a righe).

Dall’altra parte della classificazione, le fredde e rosse stelle di classe spettrale M presentano moltissime righe in assorbimento e alcune bande, prodotte dalla presenza di alcune molecole, che possono esistere solamente quando la temperatura scende sotto i 3000 K (la prima a comparire è l’ossido di titanio: TiO).

Spettri delle diverse classi spettrali. (Quasi) tutte le stelle si dividono in base alla loro temperatura e caratteristiche dello spettro in 7 classi: OBAFGKM. Quelle di classe O sono così calde che il loro spettro presenta pochissime linee in assorbimento. Le M al contrario sono piuttosto fredde.

Composizione chimica

Le linee negli spettri (stellari e non, in emissione o assorbimento) ci danno informazioni molto importanti e precise anche sulla composizione chimica del gas responsabile delle linee (le linee sono influenzate anche dalla temperatura!).

Ogni specie atomica, sia essa idrogeno, elio, ossigeno, carbonio, zolfo, e tutte le altre, produce delle particolari righe di lunghezza d'onda ben definita: ogni elemento ha nel suo spettro un'impronta digitale unica.

A livello atomico, gli assorbimenti e le emissioni a determinate lunghezze d'onda sono da associare a transizioni elettroniche.

Possiamo immaginare ogni atomo secondo la visione semi-classica di Bohr. Al centro si trova il nucleo, attorno al quale orbitano, in qualche modo, gli elettroni.

Ogni elettrone ha delle orbite fissate (orbitali), alle quali compete un'energia fissata. Quando l'elettrone incontra un fotone esattamente dell'energia necessaria per poter passare da un livello energetico ad un altro (cambiare orbita), allora il fotone viene assorbito e l'elettrone si sposta su un'orbita più esterna.

L'elettrone, però, ha la tendenza a tornare spontaneamente nel livello energetico (orbita) con energia minore (più vicino al nucleo). Quando viene compiuto questo salto, esso emette un fotone pari alla differenza di energia delle due orbite, in una direzione casuale.

I processi di assorbimento ed emissione sono quindi legati: ad ogni assorbimento corrisponde un'emissione successiva.

La situazione ad osservarla approfonditamente non è totalmente simmetrica.

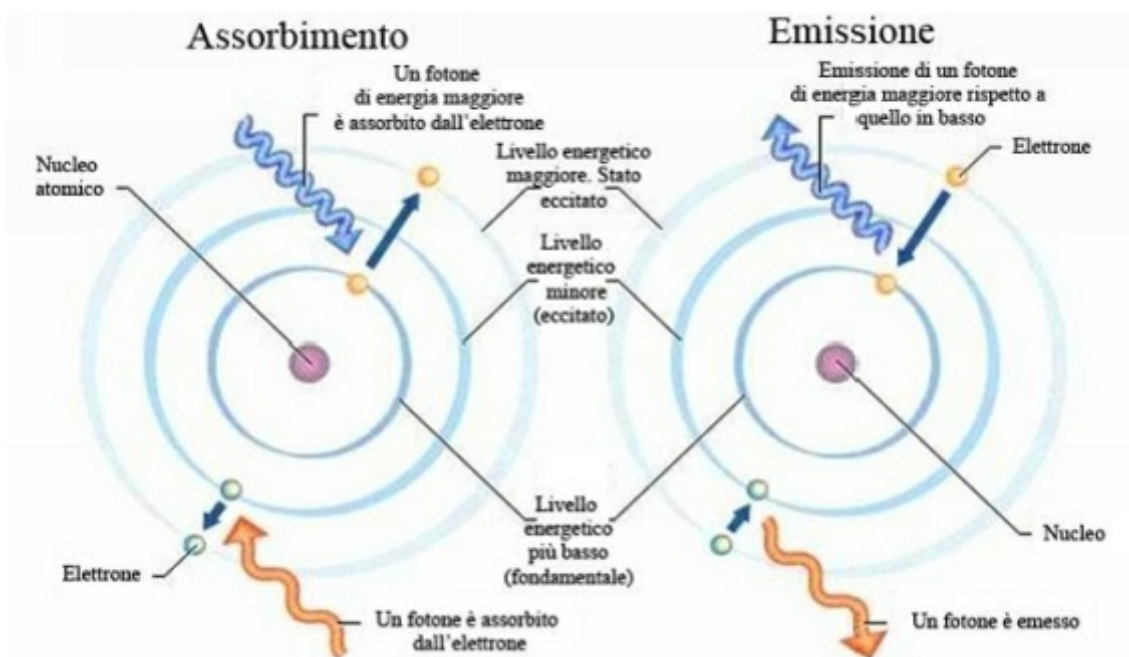
L'elettrone può assorbire un fotone che gli permette di fare un doppio salto e poi cedere la sua energia con due salti distinti, emettendo quindi due fotoni di energia minore rispetto a quello assorbito (ma l'energia totale sarà la stessa!).

Molto più importante per i nostri scopi è capire che la direzione del fotone emesso è totalmente casuale.

La teoria ci dice che quando si ha assorbimento si ha anche emissione, ma le osservazioni non ci consentono di osservare entrambi i processi in uno stesso spettro.

Qual è il motivo?

Nel caso del Sole e delle stelle, il gas presente nell'atmosfera è più freddo della fotosfera.

La luce proveniente dalla fotosfera viene intercettata dal gas, che assorbe le lunghezze d'onda opportune. Subito dopo si verifica l'emissione, solo che questa avviene in direzione casuale; ne consegue che l'effetto netto è quello di un assorbimento della luce diretta verso l'osservatore. Supponiamo, infatti, che un atomo assorbe 10 fotoni e ne riemette 10 identici l'istante successivo.

Assorbimento ed emissione di un fotone da parte di un elettrone legato al proprio nucleo atomico. Quando il fotone incidente ha esattamente la stessa energia che serve all'elettrone per compiere uno o più salti orbitali, esso viene assorbito e l'elettrone si porta su un livello energetico maggiore. Se l'energia del fotone non è esatta, esso non viene assorbito. Questi stadi non sono stabili e dopo circa 1 miliardesimo di secondo l'elettrone torna al livello fondamentale, emettendo un fotone che ha un'energia pari alla differenza energetica tra due livelli. Questo meccanismo è alla base dello spettro a righe.

I dieci fotoni assorbiti provengono dalla fotosfera e sono diretti tutti verso l'osservatore. Il processo di emissione produrrà altrettanti fotoni, ma questa volta le loro direzioni saranno totalmente casuali e, nella migliore delle ipotesi, potremmo catturarne solamente uno: benché l'energia totale si conservi (10 fotoni assorbiti ed altrettanti emessi) lungo la nostra linea di vista notiamo un deficit.

Se il gas è, invece, estremamente caldo (almeno 10000 K) e non è posto su uno sfondo luminoso, osserviamo sempre delle righe in emissione (come succede nelle nebulose)

Visto che ogni elemento ha uno spettro caratteristico, analizzando le linee in assorbimento, o in emissione, di stelle, nebulose e galassie, e la loro intensità, possiamo capire quale sia la composizione chimica e la temperatura di quell'oggetto.

Effetto doppler: velocità di rotazione e moti propri

Come accade anche per le onde sonore, una sorgente che si muove rispetto all'osservatore è soggetta all'effetto doppler. Nel caso delle onde elettromagnetiche si verifica uno spostamento della lunghezza d'onda verso il rosso se il moto è in allontanamento, verso il blu se in avvicinamento.

Poiché le stelle sono dei corpi neri con sovraimpresse moltissime linee in assorbimento, è relativamente semplice misurare l'effetto doppler analizzando la lunghezza d'onda delle linee, confrontata con quelle ottenute in laboratorio su campioni in quiete rispetto all'osservatore.

Generalmente per la misura si analizza la lunghezza d'onda della riga H-alpha, che in situazione di riposo si trova a 656,280 nm.

Supponiamo ora di misurare, presso il bordo solare, la lunghezza d'onda della riga H-alpha a 656,275 nm. La formula dell'effetto doppler (non relativistica) lega la lunghezza d'onda misurata alla velocità radiale:

$$v_r = [c(\lambda_{oss} - \lambda_o)]/\lambda_o,$$

dove c è la velocità della luce, λ_o la lunghezza d'onda a riposo e λ_{oss} quella misurata.

Nel nostro caso troviamo v_r = -2,3 km/s.

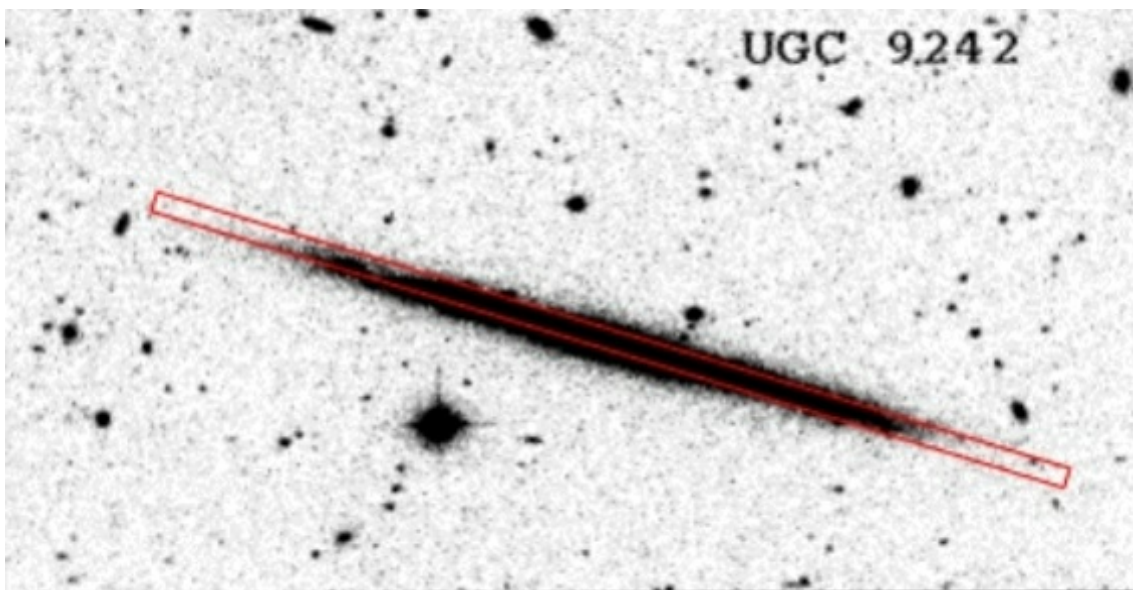
Il segno negativo ci dice che la velocità è in avvicinamento; il valore di 2,3 km/s corrisponde all'incirca alla velocità tangenziale equatoriale del Sole.

Questo calcolo è però semplice solamente in teoria.

In realtà le cose sono molto più complicate perché l'effetto doppler raccoglie tutti i moti che avvengono lungo la direzione

dell’osservatore ed è quindi necessario in qualche modo separare i contributi.

Disquisizioni tecniche a parte, di cui non ci occupiamo in queste pagine, è importante comprendere che l’analisi dello spettro di una sorgente permette di mettere in evidenza tutti e i soli moti verso l’osservatore.

Nel caso del Sole lo spostamento è molto piccolo, ma per alcune galassie brillanti, che ruotano con velocità di circa 200 km/s è decisamente maggiore.

Sopra: lungo l’asse maggiore della galassia a spirale UGC9242 è stata posizionata la fenditura di uno spettroscopio. Sotto: lo spettro della galassia mostra due linee spostate a sinistra verso il rosso, a destra verso il blu.

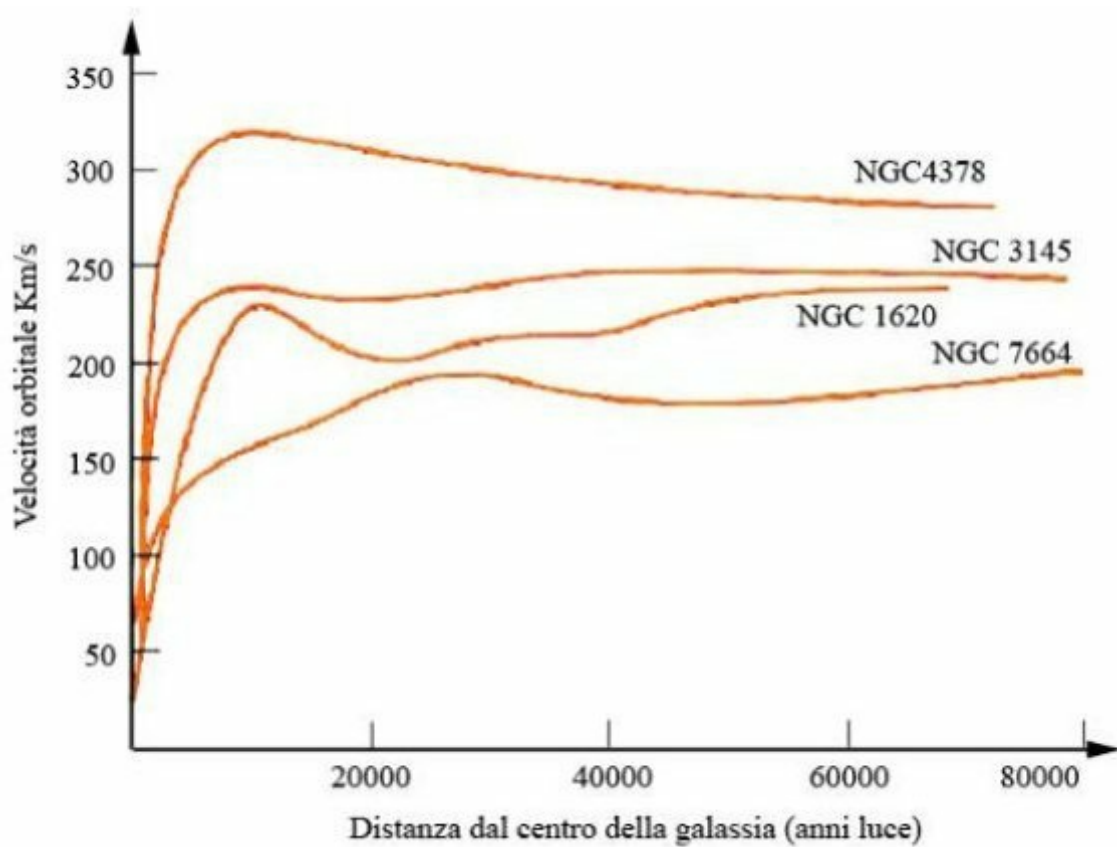



Grafico della velocità di rotazione delle galassie a spirale in funzione della distanza dal centro.

Effetto doppler cosmologico: distanze galattiche

C'è una componente di effetto doppler che non è causata dal moto della sorgente o dell'osservatore, ma dall'espansione dell'Universo stesso.

In parole semplici e approssimate, lo spazio tra le galassie non resta fisso e immutato come ci si aspetterebbe, ma si espande. In realtà se ne crea letteralmente di nuovo.

Il risultato osservativo di questo fenomeno bizzarro è che tutte le galassie sembrano allontanarsi da noi, in misura maggiore quanto maggiore è la loro distanza. La velocità misurata, detta di recessione, è però solamente un effetto apparente della creazione di nuovo spazio. Le galassie in questo caso non si muovono nello spazio, è lo spazio stesso che sembra muoversi.

L'esempio classico, seppure approssimato, per capire la complessità del problema è un palloncino che si gonfia, raffigurante l'Universo. Immaginate sulla superficie le galassie, disegnate come dei piccoli punti e ben ancorate sulle loro posizioni. Se qualcuno gonfia il palloncino, tutte le galassie si allontanano le une dalle altre, ma le posizioni sul palloncino restano esattamente le stesse di prima.

Distinguere tra effetto doppler cosmologico e quello dovuto al moto non è semplice.

Per oggetti compatti ed in rotazione (stelle, galassie, ammassi stellari, quasar) è relativamente facile: se l'estremità est di un disco galattico appare in allontanamento, allora quella ovest deve essere in avvicinamento e viceversa.

In generale, i moti di rotazione e rivoluzione si possono distinguere da quelli causati dall'effetto doppler cosmologico, perché simmetrici rispetto ad un asse (stellare, galattico, di

ammassi di galassie…).

I moti propri (di stelle e galassie) non sono invece facili da discriminare, tanto che sono richieste spesso complesse osservazioni.

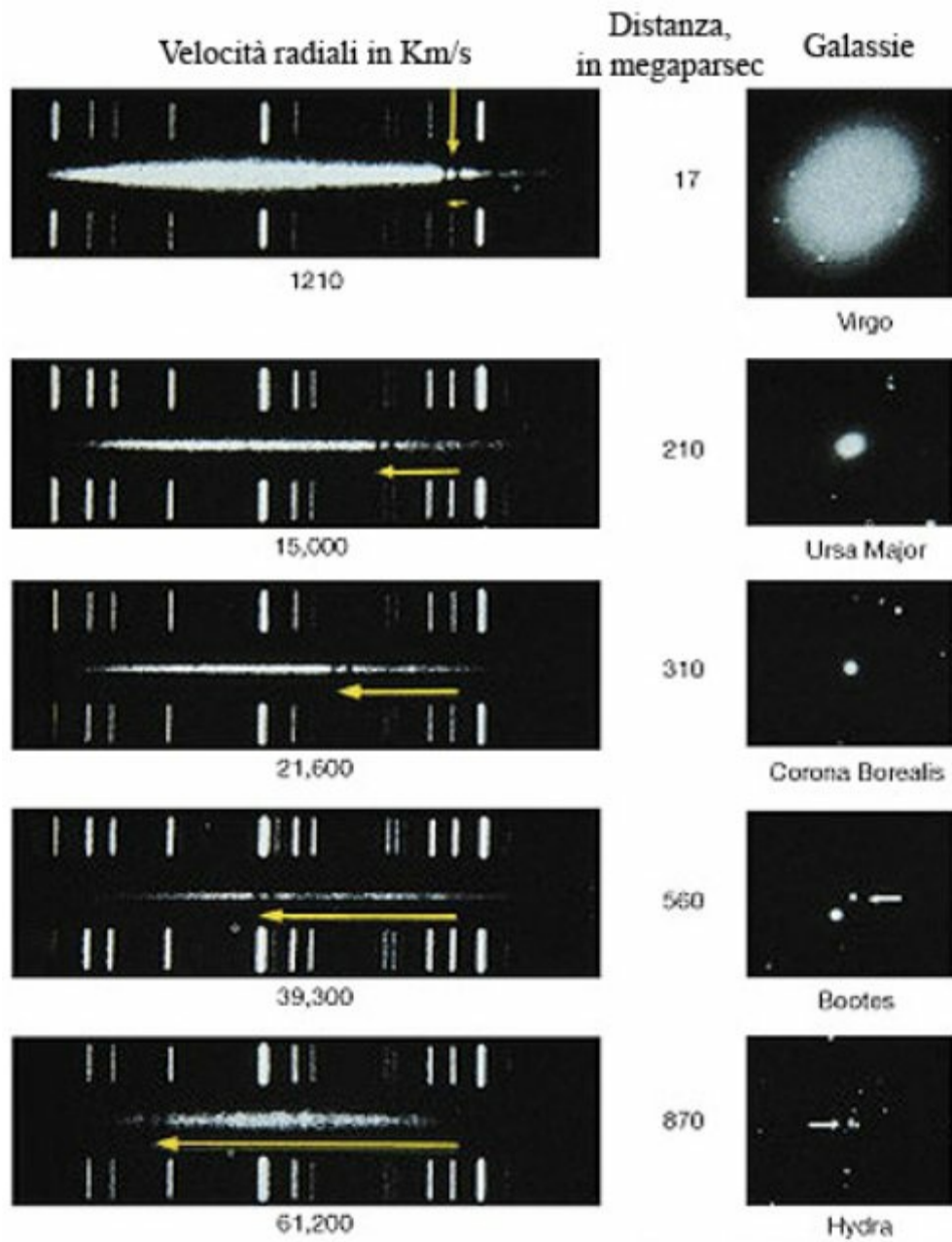
L’espansione dell’Universo agisce su scale cosmologiche, ovvero molto maggiori delle distanze medie delle galassie.

Per apprezzare con chiarezza un moto dovuto esclusivamente dall’espansione dell’Universo dobbiamo quindi spingerci molto lontano, oltre mezzo miliardo di anni luce.

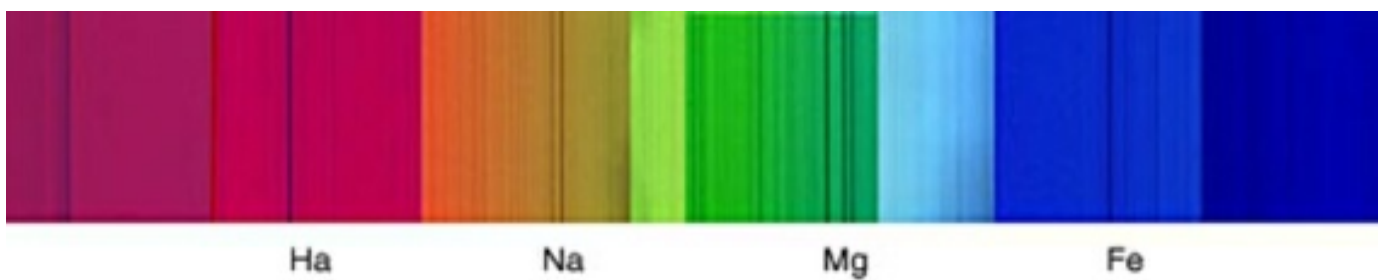
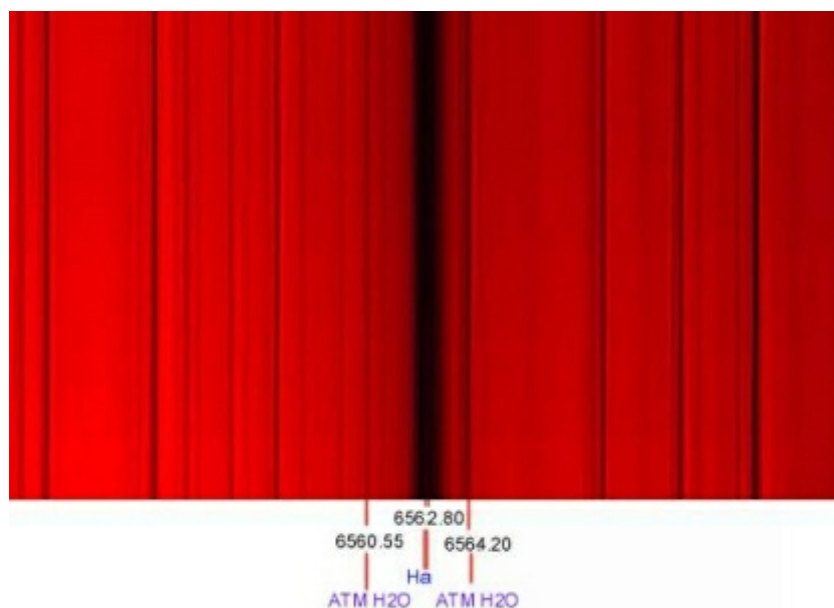
Non a caso le galassie a noi vicine non sembrano allontanarsi tutte da noi: Andromeda si avvicina a diverse decine di km/s, così come l’ammasso di galassie della Vergine, al quale ci stiamo avvicinando a circa 200 km/s.

Su scale piccole prevalgono i moti propri, su scale grandi l’espansione dell’Universo.

La misurazione dell’effetto doppler cosmologico per oggetti lontani e luminosi, come qualche quasar, permette di ricavare direttamente informazioni sulla velocità causata dall’espansione dell’Universo, detta anche velocità di recessione.

La relazione che lega la velocità di recessione alla distanza è la cosiddetta legge di Hubble, la quale è ancora oggetto di intensi studi: $v = H_0 d$ è $d = (v/H_0)$, dove v è la velocità di recessione, misurata attraverso l’interpretazione cosmologica del redshift, H_0 è la costante di Hubble, il cui valore è attorno a 70 km/s/Mpc e d la distanza dell’oggetto, espressa in Parsec (pc).

Effetto del redshift cosmologico all'aumentare della distanza delle galassie. Le linee dello spettro si spostano verso lunghezze d'onda maggiori.

Risultati ottenibili

La spettroscopia solare (da condurre sempre con un filtro solare) è più adatta all'astrofilo alle prime armi. La luce del Sole è abbastanza abbondante per raggiungere risoluzioni elevatissime. Specialista in questo tipo di riprese è l'astrofilo Fulvio Mete, ideatore e costruttore di diversi spettrografi solari e stellari, ottenendo risultati molto significativi, come la stima del periodo di rotazione del Sole e di alcune galassie.

Lo spettro solare in bassa risoluzione ottenuto con uno spettrografo autocostruito ed una webcam. Grazie alla grande luce disponibile, la spettrografia solare è un'attività relativamente semplice e ricca di soddisfazioni. Lo spettro e lo spettrografo sono stati realizzati da Fulvio Mete, astrofilo molto esperto di spettroscopia, soprattutto solare.

Parte dello spettro solare centrato sulla riga H-alpha, in altissima risoluzione (circa 0,2 Angstrom, cioè 0,002 nm!) ripreso da Fulvio Mete con

uno spettroscopio solare ad alta risoluzione da lui realizzato.

Per gli oggetti del cielo profondo meglio non avere grosse aspettative, poiché la luce raccolta dagli strumenti amatoriali è modesta, se paragonata ai grandi telescopi da 10 metri di diametro.

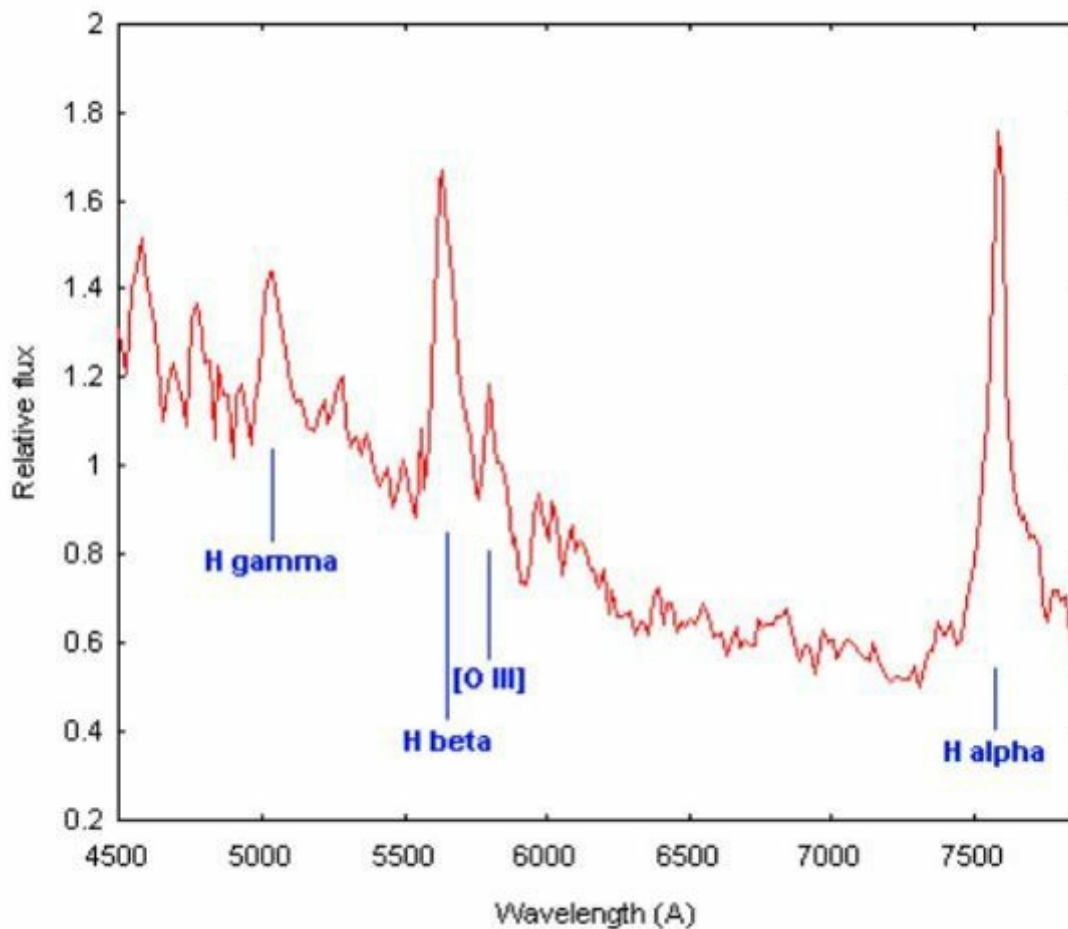
Con una giusta tecnica è possibile ricavare gli spettri di stelle più brillanti della magnitudine 10, stimandone la temperatura (legge di Wien, già vista in 1.7), la composizione chimica, il tipo spettrale e la massa.

Non è possibile stimarne il periodo di rotazione, né tantomeno evidenziare l'eventuale presenza di pianeti, viste le altissime risoluzioni richieste.

Nel caso di qualche galassia o quasar particolarmente luminoso (ad esempio 3C273, nella Vergine) è possibile stimare il redshift (cosmologico nel caso dei quasar, dominato dai moti propri nel caso delle galassie vicine) e costruire la curva di rotazione di alcune galassie a spirale. Infatti, nelle spirali simili alla Via Lattea, viste di profilo, la velocità radiale delle stelle è di circa 200 km/s. A questa velocità radiale è associato uno spostamento verso il rosso della riga H-alpha dell'idrogeno (la più evidente in ogni spettro) pari a circa 4,3 Angstrom.

Lo spostamento in valore assoluto è di 8,6 Angstrom (4,3 in avvicinamento ed altri 4,3 in allontanamento), alla portata della strumentazione in nostro possesso.

Purtroppo la spettroscopia amatoriale non è utile dal punto di vista scientifico perché il divario con i professionisti è veramente elevato. Basti pensare che i migliori spettri ottenuti con telescopi professionali riescono ad evidenziare velocità radiali dell'ordine della decina di centimetri al secondo, contro i 2 km/s misurabili

(con estrema difficoltà) nello spettro solare, e i 200 km/s nelle galassie più luminose.

Spettro del quasar 3C273, il più luminoso del cielo. Il profilo spettrale è un grafico dell'intensità in funzione della lunghezza d'onda, ricavato dall'immagine dello spettro.

Si nota molto bene lo spostamento delle linee, in particolare dell'H-alpha che si trova a 7600 Angstrom. Considerando la formula dell'effetto doppler, si scopre che l'oggetto recede con velocità di circa 52000 km/s. Secondo la legge di Hubble dista circa 2,5 miliardi di anni luce.

Link e risorse utili per i progetti di spettroscopia

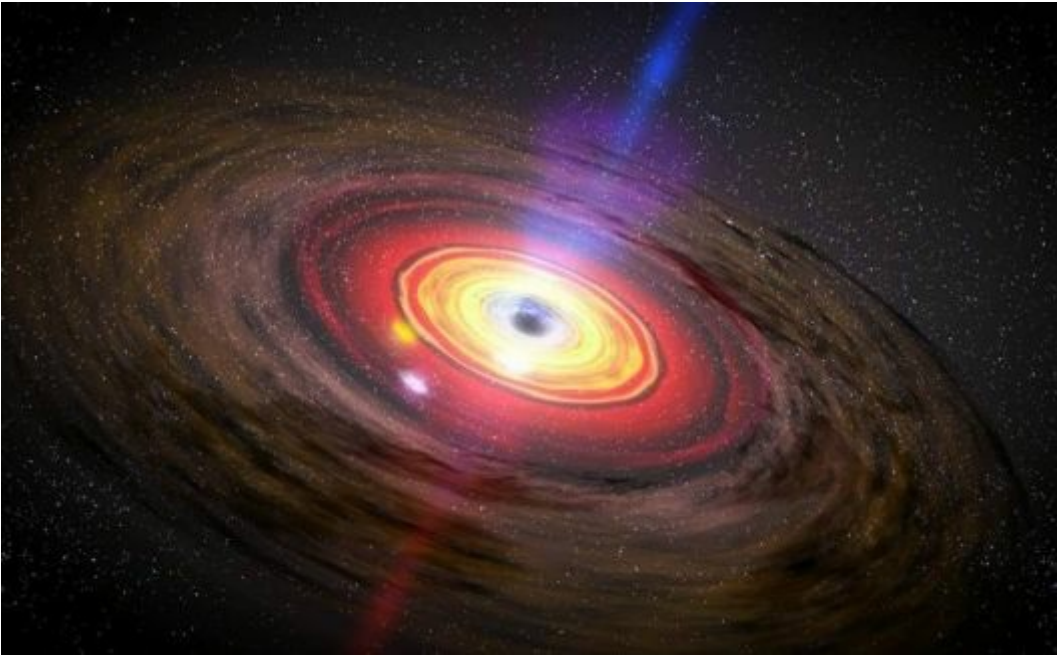
Poiché la spettroscopia amatoriale non riesce a dare un significativo contributo alla ricerca astronomica, non esistono organizzazioni finalizzate alla raccolta ed analisi dei dati spettroscopici.

Naturalmente, però, il web contiene molte risorse per poter apprendere questa tecnica così diversa rispetto a tutte le altre finora viste.

Una risorsa estremamente valida si trova anche in italiano. L'amatore Fulvio Mete è tra gli astrofili più preparati a livello mondiale in questa disciplina. I suoi siti web:

http://www.lightfrominfinity.org/ e http://www.pno-astronomy.com/ offrono spunti di ricerca e di autocostruzione davvero interessantissimi. Se si preferisce un contatto diretto, è possibile iscriversi al gruppo di discussione sulla spettroscopia stellare curato dall'UAI, di cui Fulvio Mete è il coordinatore della sezione di ricerca: http://spettroscopia.uai.it/index.htm .

In questa branca della ricerca astronomica, il ruolo degli osservatori italiani non ha nulla da invidiare al resto del mondo, tanto che non esistono risorse più complete di quelle appena citate. Se però qualcuno dovesse sentire la mancanza di una bella lettura in inglese, posso suggerire questo sito: http://www.amateurspectroscopy.com/ che parla più che altro di strumentazione. Certo, perché in questo campo, a meno che non si disponga di svariate migliaia di euro, lo spettroscopio si autocostruisce: una parte fondamentale del divertimento è proprio questa!

Astrofisica

Alcuni degli articoli che vedremo sono estratti dal mio libro: "Nella mente dell'Universo"

Questa sezione, suddivisa in due rubriche, l'una un po' più tecnica, l'altra più semplice, rappresenta il cuore di questi volumi e ci proietta verso i grandi temi dell'astronomia teorica. Pianeti, stelle, galassie, buchi neri, quasar, nebulose, ammassi stellari, materia oscura, destino dell'Universo… Affronteremo insieme, mese dopo mese, un viaggio dal piccolo al grande, dal semplice al complesso, attraverso la struttura dell'Universo e le proprietà dei suoi strani abitanti. Per quanto possibile eviterò formule e concetti di difficile comprensione, rendendo l'articolo principale accessibile a tutti. La seconda parte, decisamente più rilassante, è a completa disposizione per tutte le domande sul Cosmo che la vostra mente riesce a concepire.

Le ere dell’Universo e la nucleosintesi primordiale

Tutto iniziò con il Big Bang, una specie di esplosione, meglio un evento iniziale con il quale ha avuto inizio il tutto: lo spazio, il tempo, la materia, la radiazione, tutto l’Universo ora esistente.

L’istante zero è un punto con densità e temperatura infinite, una singolarità, qualcosa che non è possibile da spiegare con le leggi fisiche che conosciamo.

Questa singolarità conteneva il TUTTO e per tutto intendo dire tutta la materia, lo spazio, la radiazione che oggi possiamo osservare e misurare.

È bene chiarire cosa si identifica con l’evento Big Bang e cosa non deve essere invece frainteso:

- Il Big Bang non è un’esplosione identificata nello spazio, piuttosto l’esplosione e la creazione dello spazio, quindi anche del tempo. Non è possibile collocarlo in un punto perché tutto era concentrato in quel punto, sia spazialmente che temporalmente;
- La velocità di recessione delle galassie e della radiazione cosmica di fondo produce uno spostamento verso il rosso di tutta la radiazione elettromagnetica. Poiché l’energia della radiazione è proporzionale alla frequenza o, in alternativa, inversamente proporzionale alla lunghezza d’onda, qualsiasi radiazione spostata verso il rosso possiede un’energia minore, o in alternativa, si raffredda. L’allontanamento delle galassie è causato

dall'espansione dell'Universo, cioè dalla creazione di nuovo spazio e l'effetto, benché sia lo stesso, non è da confondere con il redshift causato dall'effetto doppler. Quest'ultimo è causato dal moto relativo delle sorgenti, il redshift cosmologico dalla creazione di nuovo spazio. Questo porta a un'altra importante conseguenza:

- La velocità di recessione di due galassie può essere anche maggiore della velocità della luce. Poiché non sono implicati moti di oggetti massicci come stelle e/o particelle in generale, non valgono i limiti imposti dalla relatività ristretta per la velocità con la quale l'Universo si può espandere;
- L'espansione dell'Universo riguarda ogni punto dello stesso, solamente che è misurabile su scale molto grandi, cosiddette cosmologiche.

È impossibile misurare l'espansione del nostro corpo o della Terra o dell'intero sistema solare. Gli effetti sono visibili a partire da scale di qualche centinaio di milioni di anni luce e sono tanto maggiori quanto maggiori sono le distante alle quali si osserva. L'analogia con un palloncino che si gonfia è perfettamente calzante: due punti vicini si espandono con velocità minori rispetto a due punti molto lontani;

- Sulla base di considerazioni fisiche, quantistiche e termodinamiche è possibile risalire a ritroso fino ai primissimi istanti di vita dell'Universo, ricostruire ere che non possiamo osservare direttamente (ad esempio tutte quelle antecedenti il disaccoppiamento materia-radiazione, poiché

l'Universo a quei tempi era completamente opaco alla sua stessa radiazione);

Le leggi fisiche come le conosciamo possono dirci con ottima precisione come si comportava e come è evoluto l'Universo a partire dal cosiddetto tempo di Planck, che equivale a circa 10^{-43}s dopo il Big Bang.

Possiamo arrivare effettivamente estremamente vicini all'istante iniziale, ma non lo potremmo mai raggiungere. Attualmente, per cercare di spiegare gli istanti antecedenti si ricorre alla cosiddetta teoria delle stringhe, la quale però, dopo l'entusiasmo iniziale, non ha trovato riscontri nella realtà e sembra adesso in una fase di stallo.

Fatte queste premesse, siamo in grado di analizzare le ere principali del nostro Universo, le tappe fondamentali che lo hanno portato a essere quello che oggi noti tutti osserviamo, secondo il modello ormai più accettato e che dispone di maggiori prove osservative, il cosiddetto modello standard, opportunamente modificato con l'introduzione dell'inflazione, della materia oscura e della costante cosmologica Λ (denominato modello Lambda-CMD, Cold Dark Matter).

1) Tempo $t = 0$, temperatura T = infinito. Avviene il Big Bang. La singolarità iniziale "esplode", si espande e si crea lo spazio e il tempo. All'interno si trova radiazione e le 4 interazioni fondamentali, ma nessuna particella;

2) $t = 10^{-43}$s, $T = 10^{32}$K. Al tempo di Planck si suppone che la forza gravitazionale si separi dalle altre tre che continuano a essere unificate (hanno la stessa intensità, stesso raggio, stesse proprietà). Il raggio dell'Universo è ancora sconosciuto. A partire da questo tempo possiamo conoscere con ragionevole certezza ogni sua fase;

3) $t = 10^{-35}s$, $T = 10^{28}K$, , raggio dell'Universo $R = 10^{-26}m$, denominata era dell'inflazione. Termina la grande unificazione. La forza forte si separa da quella elettromagnetica e debole che continuano a essere unite (forza elettrodebole). Si creano le prime particelle elementari: quark, leptoni e le relative antiparticelle. A questo istante si verifica il fenomeno dell'inflazione, una iper-espansione dell'Universo in un tempo brevissimo.

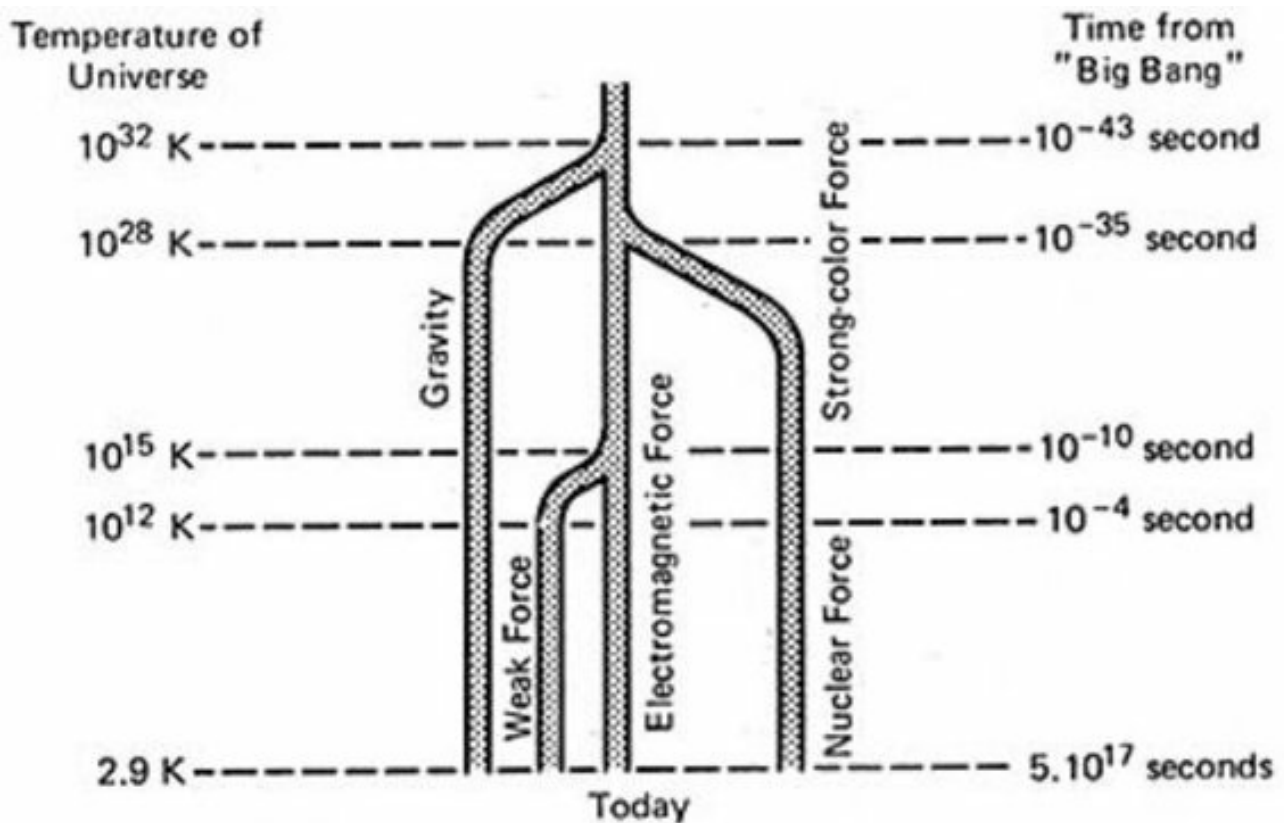
Sempre in questa era si forma il leggero eccesso di materia rispetto all'antimateria, un fatto fondamentale. Se materia e antimateria fossero state presenti in modo perfettamente uguale, si sarebbero annichilite totalmente; l'Universo sarebbe stato un luogo permeato esclusivamente da radiazione e qualche sporadica e temporanea concentrazione di particelle e/o antiparticelle. A causa dell'inflazione, di cui si pensa sia responsabile l'energia oscura, l'Universo in un intervallo di tempo di $10^{-34}s$ si espande da un raggio $R = 10^{-26}m$ a $R = 10m$, aumentando di dimensioni di un fattore di almeno 10^{27} volte.

4) $t = 10^{-32}s$, $T = 10^{28}K$, $R = 10m$, l'Universo post-inflattivo ha una temperatura altissima, uguale rispetto alla fase precedente. Questo comportamento è accettato e giustificato dalla teoria dell'inflazione.

Continua la produzione di quark-antiquark. Tutte le forze sono separate tranne quella elettromagnetica e debole è elettrodebole;

5) $t = 10^{-9}s$, $T = 10^{15}K$, $R = 10^{12}m$. L'Universo ha già un raggio di un miliardo di chilometri e si sta raffreddando velocemente.

L'energia è sufficientemente bassa per separare anche la forza elettrodebole (elettromagnetica e debole). Da questo momento in

poi le 4 interazioni fondamentali seguiranno un cammino totalmente indipendente le une dalle altre;

Storia evolutiva delle 4 interazioni fondamentali. L'ultima separazione, quella tra la forza elettromagnetica e debole, avvenne 1 miliardesimo di secondi dopo il Big Bang.

6) $t = 10^{-6}$s , $T = 10^{13}$K , $R = 10^{14}$m . L'Universo ha un raggio di 100 miliardi di km e una temperatura di diecimila miliardi di gradi. Oltre alla radiazione sono presenti in abbondanza quark, costituenti principali degli adroni.

L'energia termica finalmente diventa abbastanza bassa da consentire all'interazione forte di avere il sopravvento. I quark e gli antiquark si combinano tra loro a formare le prime particelle composite, gli adroni. Si formano in particolare i protoni e i neutroni e le relative antiparticelle. La grande maggioranza si annichilisce tra di loro, ma un'infinitesima abbondanza di materia fa si che una piccola parte non si annichilisce, mentre

tutta l’antimateria scompare.

La differenza, in termini numerici è piccolissima: ogni miliardo di antiparticelle, vengono prodotte un miliardo e una particelle;

7) $t = 1s$, $T = 10^{10}K$, $R > 10^{14}m$. Disaccoppiamento dei neutrini. Data la densità e temperatura elevatissima, i neutrini fino a questo istante interagivano con altra materia e con la radiazione seguendo quindi la stessa storia evolutiva.

In questo momento l’Universo diviene abbastanza rarefatto da consentire ai neutrini, presenti in grandissimo numero, di sfuggire e seguire una storia totalmente diversa, in modo del tutto analogo a quanto avverrà 300.000 anni dopo con i fotoni. In effetti il fondo cosmico di neutrini è stato teorizzato da tutti i modelli di Big Bang, ma fino a ora non è stato osservato direttamente, poiché queste particelle sono molto difficili da rilevare, soprattutto con una densità così esigua come quella di origine cosmologica.

La temperatura dei neutrini, a causa dell’espansione dell’Universo, si dovrebbe attestare intorno ad $T \approx 1{,}95K$. Fino a ora sono stati trovati solo alcuni indizi indiretti della loro presenza.

È certo che se un giorno si riuscisse a costruire un telescopio a neutrini abbastanza sensibile, si potrebbe osservare direttamente il fondo cosmico risalendo a un tempo di un secondo dopo il Big Bang e avere così un quadro diretto e prove concrete delle ipotesi fatte fino al disaccoppiamento materia-radiazione; una prospettiva davvero affascinante!

8) $t = 100s$, $T = 10^{10}K$, $R > 10^{15}m$. Era della nucleosintesi.

Questo è un momento fondamentale per l’Universo. La densità e la temperatura ricordano da vicino quella dell’interno

delle stelle, nelle quali avvengono le reazioni nucleari. Proprio come un gigantesco nucleo stellare, a questo tempo l'Universo è sottoposto a reazioni di fusione nucleare che coinvolgono i protoni, che altro non sono che nuclei di idrogeno.

In un tempo molto breve, circa 3 minuti, la composizione dell'Universo cambiò drasticamente.

Il mare di protoni venne trasformato, grazie all'interazione con fotoni e neutroni, in una miscela composta per il 25% da nuclei di elio 4 (due neutroni e due protoni), l'1% di deuterio (isotopo dell'idrogeno, contenente un protone e un neutrone) e tracce di elementi più pesanti, come il litio.

La durata limitata di questa fase, che si concluse dopo 3 minuti, quando i livelli di temperatura e densità erano ormai insufficienti per innescare le reazioni di fusione nucleare, fu sufficiente per formare solamente elio e tracce di litio, berillio e deuterio, ma non elementi più pesanti.

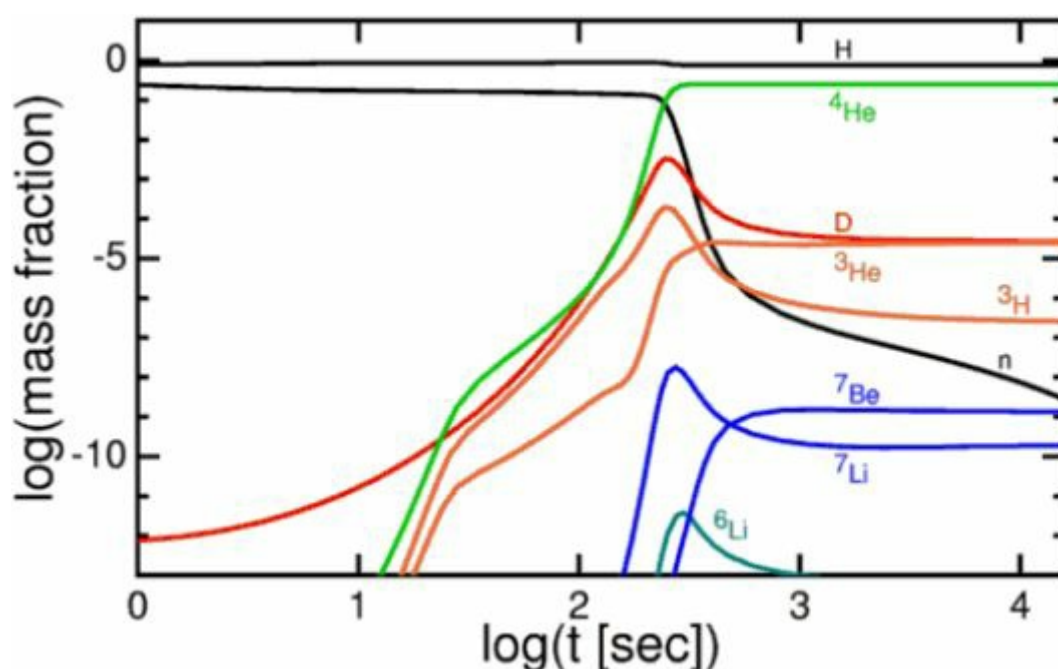
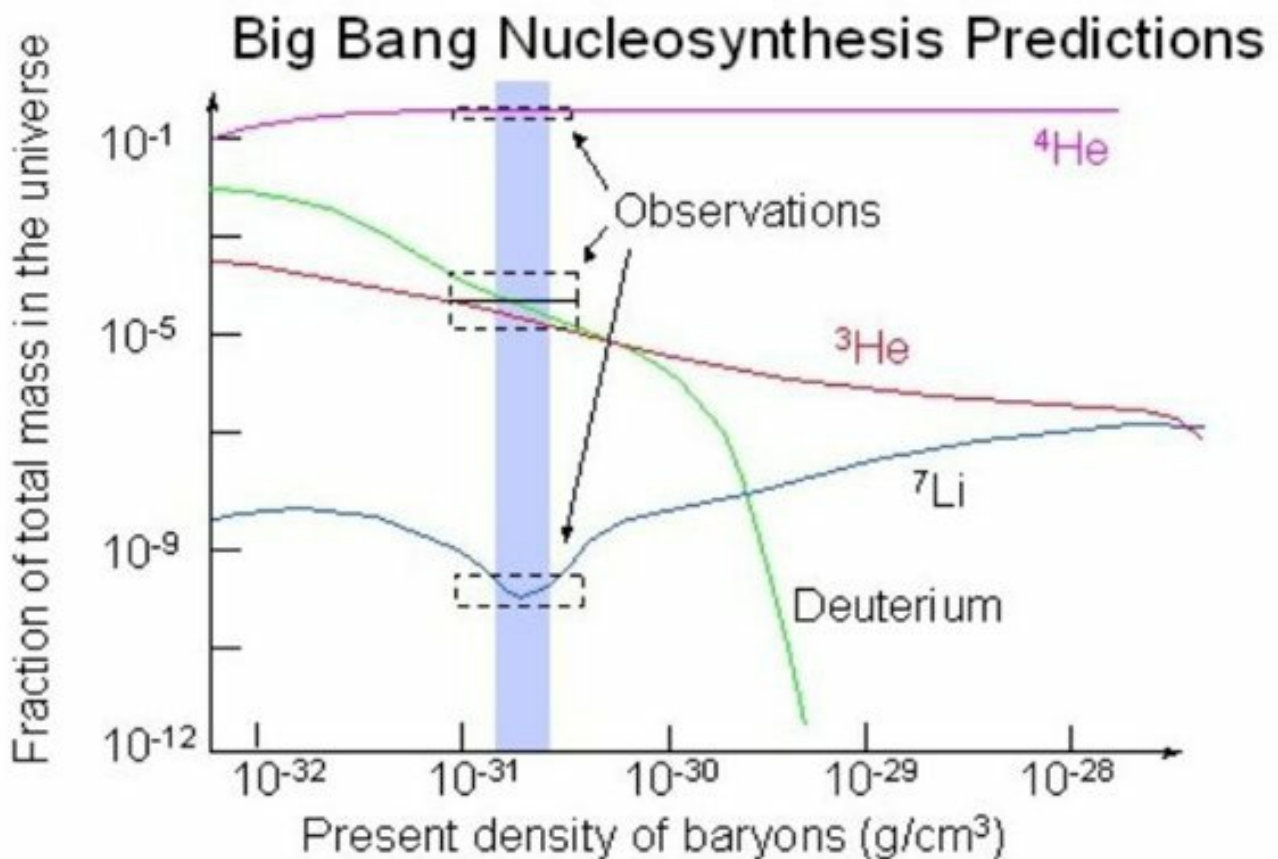
Questo fatto è di fondamentale importanza. Se le condizioni adatte fossero durate anche solo per 10 minuti, invece che 3, l'Universo si sarebbe riempito di elementi pesanti; quasi tutto l'idrogeno sarebbe scomparso e la nascita delle stelle, galassie e la vita stessa sarebbero state impossibili.

La nucleosintesi primordiale è un altro successo della teoria del Big Bang. Nessun altro fenomeno è in grado di spiegare come mai nell'Universo esiste un'abbondanza del 74% di idrogeno e 25% Elio 4.

Oggi sappiamo che l'unico ambiente nel quale si produce elio sono le stelle, ma neanche tutte le stelle dell'Universo sono in grado di produrre, nel corso di quasi 14 miliardi di anni, il 25% dell'Elio che si osserva.

Dopo questi 3 minuti nei quali si verificarono i processi di

nucleosintesi primordiale per 300.000 anni non successe praticamente più nulla, almeno a livello della materia presente. L'Universo continuò naturalmente a espandersi e raffreddarsi. La materia era ancora completamente ionizzata, con composizione chimica quasi identica agli ambienti stellari attuali: un mare di elettroni, il 74% (della massa) di protoni, il 25% di nuclei di elio (dette anche particelle alpha), l'1% di deuterio e tracce di litio e berillio (sempre nuclei atomici).

Le altre particelle sono tutte instabili e possono prodursi solo sporadicamente attraverso le interazioni di elettroni e nucleoni.

Abbondanza degli elementi nell'Universo primordiale in funzione del tempo. Il numero di protoni si mantiene quasi costante, mentre i neutroni diminuiscono notevolmente, a causa della formazione dei nuclei di Elio mediante la catena protone-protone.

Le osservazioni delle attuali abbondanze degli elementi chimici sono in perfetto accordo con quello che la teoria della nucleo sintesi primordiale prevede. Questa è un'ottima prova della correttezza del modello proposto.

Protoni e soprattutto elettroni interagiscono continuamente con la radiazione presente, proprio come all'interno di una gigantesca stella.

L'Universo è ancora completamente opaco.

La radiazione e la materia sono accoppiate, hanno la stessa storia evolutiva, sono quindi in equilibrio. Le proprietà dell'una, come la temperatura, si riscontrano anche nell'altra. I fotoni presenti non riescono a propagarsi indipendentemente nello spazio e a noi, osservatori attuali esterni, non ci giunge alcuna informazione diretta in merito a quegli istanti, fino al momento nel quale la temperatura scese abbastanza per permettere ai nuclei atomici di combinarsi con gli elettroni sparsi e dare vita a una nuova era, nella quale il contributo della radiazione diventa trascurabile e la materia prende completamente il sopravvento.

9) $t = 3 \cdot 10^5$anni , $T = 3000K$, $R = 10^6$anni luce . Era del disaccoppiamento. Quasi tutta la materia si trova nello stato neutro, composta da atomi. A questo punto la radiazione presente smette di interagire in modo continuo con la materia e riesce a propagarsi in ogni direzione. L'Universo diventa trasparente a se stesso: radiazione e materia da questo momento in poi seguiranno due strade completamente indipendenti.

La radiazione cosmica di fondo è la prima traccia visibile del nostro Universo; essa permea tutto lo spazio, e i suoi fotoni, dopo un viaggio di miliardi di anni, giungono sulla Terra fortemente raffreddati a causa dell'espansione dell'Universo (redshift cosmologico). Quello che riusciamo a osservare è la cosiddetta superficie di ultimo scattering, il fronte della radiazione che per ultima ha interagito con la materia prima di venirne disaccoppiata. Nulla sappiamo invece degli istanti precedenti. È come osservare un fitto banco di nubi: possiamo osservare direttamente solamente la superficie a noi più vicina, ma non possiamo dire nulla sugli strati immediatamente superiori. L'era della materia ha avuto inizio: da questo momento in poi l'Universo evolverà dando vita, in qualche centinaio di milioni di anni, alle prime stelle e galassie.

10) Era oscura. Il tempo tra il disaccoppiamento e la formazione delle prime stelle, avvenuta circa 200 milioni di anni dopo il Big Bang, è denominato era oscura. La materia è completamente neutra e si sta ancora raffreddando. L'unica radiazione emessa è prodotta dagli atomi di idrogeno nelle onde radio, la cosiddetta riga a 21 centimetri dell'idrogeno neutro. Non ci sono stelle, ne processi di ionizzazione, quindi non esiste altra radiazione misurabile: l'Universo è un luogo estremamente buio.

La ricerca dell'emissione a 21 centimetri di questo idrogeno primordiale è una delle sfide osservative di questi ultimi anni. A causa del redshift cosmologico, questa riga dovrebbe essere spostata a frequenze molto minori, inferiori ai 200 Mhz. Se si riuscisse a trovare la sua evidenza, avremmo delle prove aggiuntive estremamente importanti a suffragio della teoria e si potrebbero ottenere moltissime nuove informazioni in merito alla distribuzione e densità del gas primordiale, la cui emissione, alla stregua della radiazione cosmica di fondo, permea tutto l'universo. Purtroppo l'emissione a 21 cm dell'idrogeno neutro è estremamente debole e fino a ora, anche a causa del disturbo causato dalla materia presente nel suo lungo tragitto fino a noi, non è stato possibile rilevarne la presenza.

11) La nascita delle prime stelle. Circa 200 milioni di anni dopo il Big Bang (ma qualche modello afferma 400 milioni di anni dopo) si accesero le prime stelle, che sancirono la fine all'era dell'oscurità.

Nell'Universo, dopo la radiazione cosmica di fondo fuggita ormai lontano, apparve di nuovo luce, una luce mai vista fino a quel momento.

I modelli evolutivi sono piuttosto incerti a questo punto, soprattutto in merito alle dimensioni e ai tempi.

Le prime stelle dell'Universo erano corpi molto particolari, estremamente diversi rispetto alle stelle che possiamo osservare attualmente.

Le stelle di popolazione III sono corpi generalmente molto massicci, oltre le 100-200 volte la massa del Sole, completamente privi di elementi pesanti, poiché a quel tempo praticamente non ne esistevano. Queste stelle sono estremamente importanti perché hanno dato inizio alla sintesi di tutti gli elementi più pesanti

dell'elio, indispensabili per la nascita e l'evoluzione delle strutture (galassie, stelle, pianeti, la stessa vita) come noi le conosciamo.

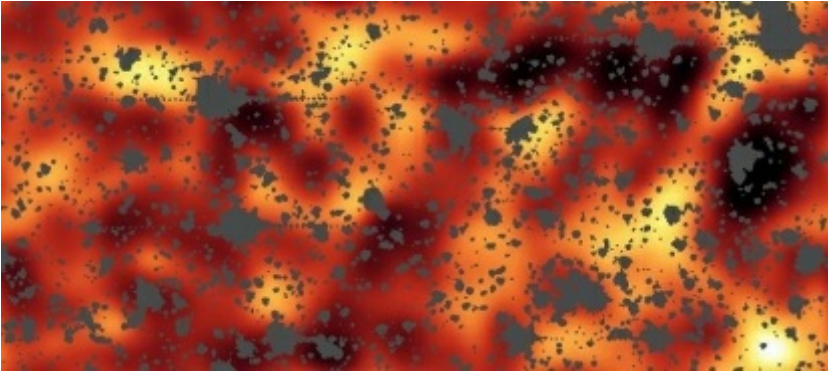
È lecito pensare che esse non siano nate isolate, ma in gruppi più o meno numerosi che successivamente hanno dato vita a delle primordiali galassie, al cui interno vi erano poderosi quasar, dei giganteschi buchi neri che fagocitano la materia posta nelle loro vicinanze.

La composizione delle stelle di popolazione III, completamente priva di carbonio, azoto e ossigeno, ha spostato di molto il limite di massa per l'esistenza di questi oggetti. Attualmente, infatti, i modelli non consentono la creazione di stelle 150 volte più massicce del Sole: oltre questa massa le reazioni nucleari, in particolare quelle della catena CNO (Carbonio-Azoto-Ossigeno) avvengono con un tasso troppo elevato, provvedendo alla distruzione della struttura stellare. Stelle prive di questi elementi sviluppano la loro energia nucleare solamente attraverso la catena protone-protone, la cui velocità ridotta consente masse superiori anche alle 300 volte quella solare.

La sintesi degli elementi pesanti nei loro nuclei ha modificato notevolmente le proprietà e la composizione dei successivi corpi stellari, dando vita a stelle di una nuova generazione; meno massicce, meno luminose: le stelle di popolazione II. Stelle di popolazione I si formeranno tra qualche miliardo di anni, con un'abbondanza di elementi pesanti paragonabile a quella del Sole.

L'osservazione diretta di queste megastelle (vengono chiamate anche in questo modo) sarebbe una prova importantissima in merito a questa teoria e alla nucleosintesi degli elementi più

pesanti.

Le stelle di popolazione III rappresentano il riempimento di questa lacuna tra l'era oscura permeata da idrogeno ed elio e l'osservazione di stelle e strutture contenenti già elementi pesanti (genericamente chiamati metalli in astronomia).

Questa ripresa del telescopio spaziale infrarosso della NASA Spitzer mostra ciò che alcuni astronomi credono essere il fondo luminoso emesso dalle stelle di popolazione III, le prime che si formarono nell'Universo.

12) Reionizzazione: tra 200 milioni ad 1 miliardo di anni dopo il Big Bang.

L'accensione delle poderose stelle di popolazione III ha immesso una grandissima quantità di radiazione nell'Universo primordiale, radiazione estremamente energetica in grado di ionizzare completamente l'idrogeno interstellare e intergalattico. La materia in questo lasso di tempo si ionizza quasi completamente e resterà in questo stato per i miliardi di anni a venire (ancora adesso).

La ionizzazione dell'idrogeno si completa dopo un miliardo di anni dalla nascita: d'ora in poi oltre il 99% dell'intero Universo si trova nello stato di plasma.

Si pensa che questo sia il processo alla base delle ingenti quantità di plasma estremamente caldo che si osservano negli ammassi di galassie, compreso quello della Vergine, il più vicino

alla Via Lattea.

All'inizio di questa fase cominciano a svilupparsi le prime strutture quali galassie e quasar, formate già da stelle di popolazione II.

Le galassie più vecchie che si conoscono hanno un'età di circa 13,2 miliardi di anni. Se consideriamo che l'Universo ebbe inizio 13,7 miliardi di anni fa (questa data sembra essere la più corretta), allora queste prime strutture si formarono circa 500 milioni di anni dopo il Big Bang.

A questo tempo l'Universo era molto più caotico e dinamico di adesso (oltre che più piccolo). Le piccolissime perturbazioni osservate nella radiazione cosmica di fondo, specchio delle perturbazioni della materia, crescono rapidamente e danno vita alle prime galassie e strutture su grande scala, come gli ammassi di galassie e a loro volta i super ammassi.

Tutto l'Universo sembra essere connesso attraverso addensamenti e filamenti, ciò che resta di quelle piccolissime perturbazioni della materia misurate nella radiazione cosmica di fondo.

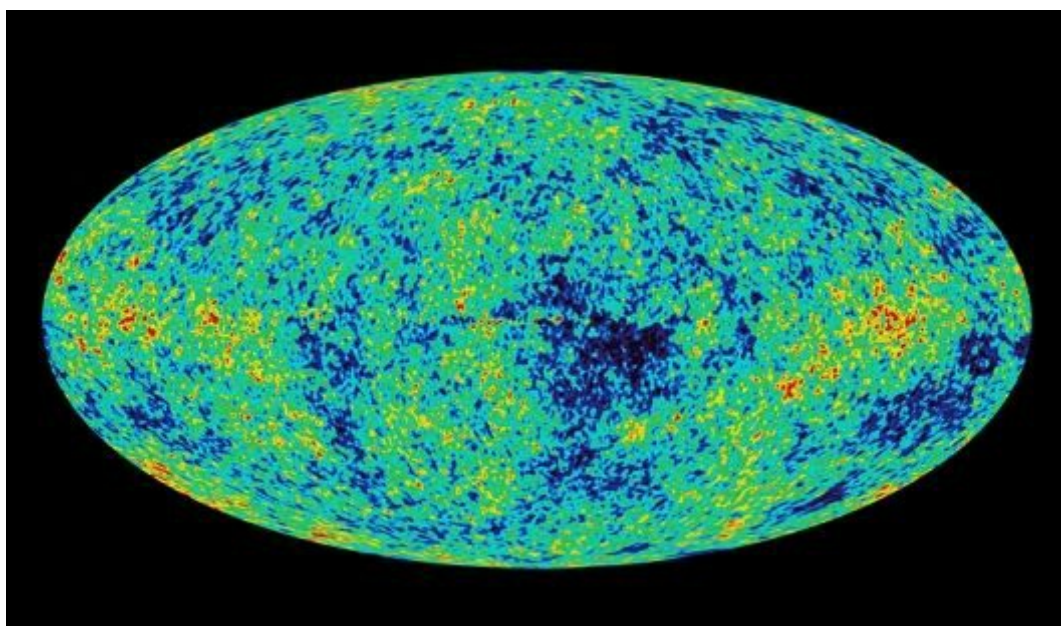
La fase di reionizzazione è contraddistinta da un aumento dell'opacità.

La radiazione emessa dalle prime stelle è stata infatti "utilizzata" dagli atomi per liberarsi dagli elettroni. L'Universo per qualche centinaio di milioni di anni è tornato a essere piuttosto opaco. Una volta ionizzatasi tutta la materia, la densità era così bassa che l'Universo è tornato a essere trasparente di nuovo, nonostante il livello di ionizzazione quasi totale, in grado, teoricamente, di bloccare tutta la radiazione prodotta (gli elettroni liberi dagli atomi possono assorbire ogni lunghezza d'onda).

Siamo in una situazione diversa rispetto alle primissime fasi, quando la materia densissima e completamente ionizzata non lasciava alcun scampo alla radiazione in essa contenuta. In questo caso, invece, l'Universo diventa trasparente una volta terminato il processo di reionizzazione, poiché la densità è estremamente bassa e ormai la massa comincia a concentrarsi in strutture che nel corso degli anni daranno vita alle galassie primordiali.

L'espansione e il raffreddamento proseguono.

Il contributo dell'energia oscura arriverà solo a posteriori; per ora l'espansione è regolata dalla materia, sia visibile che oscura (forza di gravità).

La Via Lattea, almeno la parte del disco sottile, si pensa si sia formata circa 5,5 miliardi di anni dopo l'istante iniziale.

Le leggerissime differenze di temperatura (circa 1/1.000.000 K) nella radiazione cosmica di fondo rappresentano piccolissime disomogeneità della materia contenuta nell'Universo sin dall'attimo successivo al Big Bang. Queste piccolissime perturbazioni cresceranno con il tempo e daranno vita, al termine dell'era della re-ionizzazione, alle prime galassie.

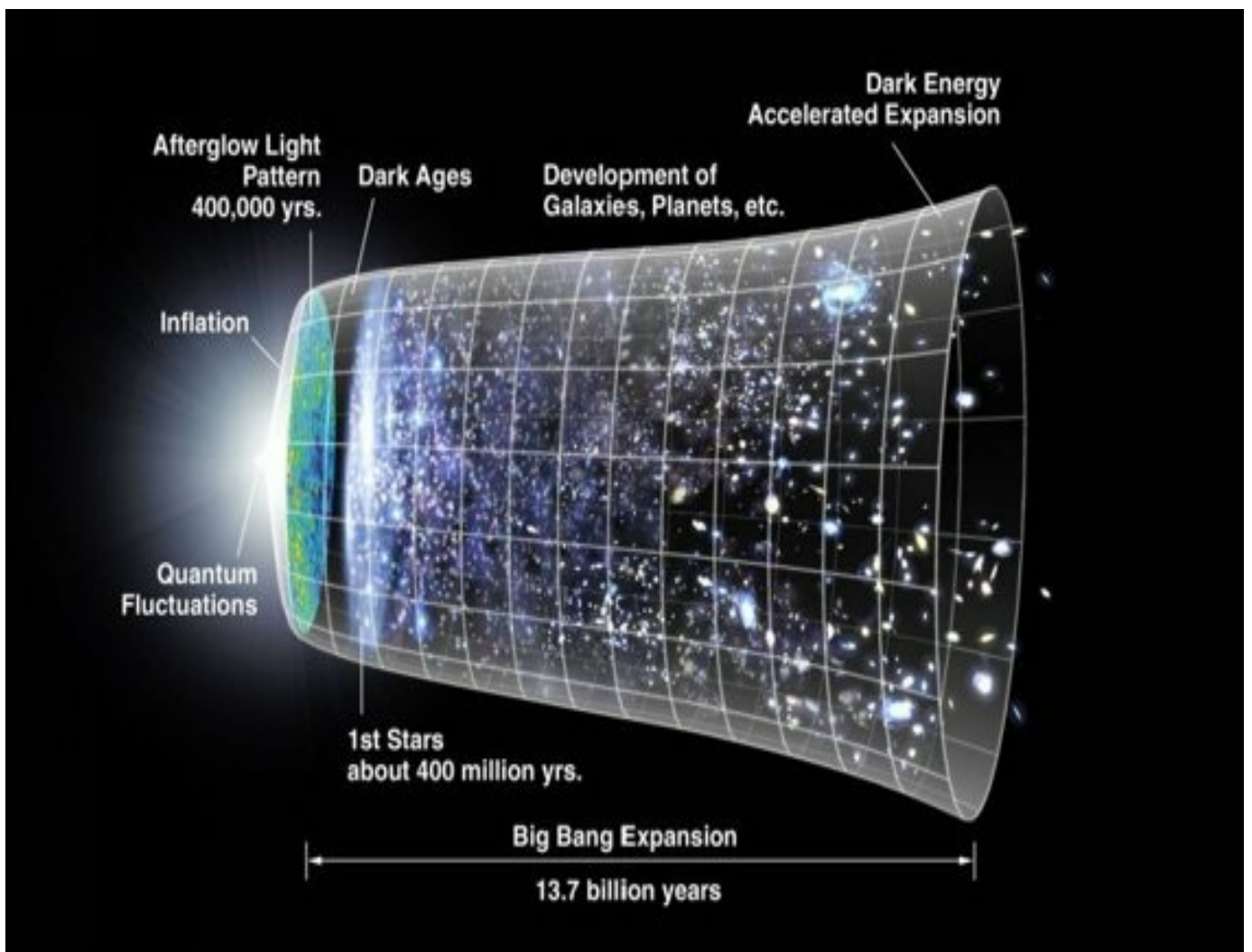
13) Era dell'accelerazione: circa 7 miliardi dopo il Big Bang, quando l'Universo era formato da strutture molto simili a

quelle che esistono oggi (a esclusione dei quasar, ormai totalmente spenti), la sua espansione, finora proceduta in modo quasi costante (la massa visibile la rallentò leggermente), si invertì. Il tasso di espansione cominciò ad accelerare a causa dell'energia oscura, il cui contributo divenne più importante di quello della materia.

Siamo arrivati quasi ai giorni nostri. l'Universo ora è maturo, almeno dal punto di vista strutturale, ma in continua evoluzione.

L'evoluzione in un futuro non troppo vicino dipende dalla massa e dal contributo e forma dell'energia oscura. Lo scenario più probabile sembra essere quello del Big Rip, un Universo che tende ad accelerare senza limiti fino a disgregare ogni struttura al suo interno. Questa è comunque una semplice ipotesi, quella che sta vedendo maggiori simpatizzanti, ma resta sempre un'ipotesi ben lungi dall'essere provata oltre ogni ragionevole dubbio.

Ciò che è chiaro, analizzando il passato e il futuro del nostro Universo, è che esso non è statico ma sempre in continua evoluzione, evoluzione che, come in ogni essere umano, è scritta nei geni, nell'istante iniziale che si è mostrato a noi per la prima volta, quindi nella radiazione cosmica di fondo. Essa contiene tutte le informazioni e le proprietà di questo nostro Universo, compreso il suo destino.

Leggere e interpretare questi dati è una delle sfide più grandi della scienza contemporanea.

Schema evolutivo dell'Universo, che tiene conto dell'inflazione iniziale e dell'accelerazione attuale. Questo è il modello più completo e accettato attualmente.

Domande e risposte

Questo spazio, all'interno della sezione di astronomia teorica, è rivolto a tutti coloro che trovano irresistibili i grandi temi dell'astronomia, ma allo stesso tempo credono che siano al di fuori della loro portata.

Non è così, e spero di dimostrarvelo rispondendo, di volta in volta, a un paio di domande semplici. Non lasciatevi ingannare da questo aggettivo: nell'Universo a domande facili corrispondono spesso risposte articolate e davvero sorprendenti.

Queste domande sono estratte dal mio libro "125 domande e curiosità sull'astronomia", quindi se siete troppo curiosi dategli un'occhiata.

Di cosa è fatta la materia?

Un atomo è un'entità formata da un nucleo di dimensioni piccolissime, attorno a un milionesimo di miliardesimo di metro (10^{-15} metri), composto da protoni e neutroni e uno o più elettroni (in numero pari ai protoni nel nucleo) che in qualche modo vi si trovano intorno, in posizioni simili a delle orbite ma mai definite (orbitali).

Gli elettroni esterni identificano i confini dell'atomo, sebbene non siano mai netti.

L'atomo più semplice è quello di idrogeno, formato da un nucleo composto da un protone e un solo elettrone che in qualche modo gli "orbita" intorno.

Un atomo di idrogeno ha un raggio tipico (raggio di Bohr) di $5{,}3 \cdot 10^{-11}$ metri, mentre le particelle che lo formano hanno dimensioni dell'ordine di 10^{-15} metri.

Un momento, ragioniamo su questi due dati: il raggio di un atomo è circa 10.000 volte maggiore del raggio delle particelle che lo compongono; questo è qualcosa di incredibile! Per avere un paragone con numeri più familiari, possiamo immaginare le particelle dell'atomo grandi come una pallina da tennis; bene, la distanza alla quale l'elettrone orbita attorno al nucleo è pari a circa 250 metri!

Un atomo è sostanzialmente vuoto, poiché oltre il 99,99% del volume non è occupato da alcuna particella. Tra il nucleo e gli elettroni c'è semplicemente un volume infinitamente grande e vuoto. Se quindi vi capita di chiedere a qualche fisico come è fatta la materia e in cambio ricevete la risposta "la materia è vuota", non vi sta prendendo in giro, ma sta semplicemente analizzando la realtà: un bicchiere contenente una goccia d'acqua

per voi è pieno o vuoto? Bene, per gli atomi vale lo stesso!

Il fatto che gli atomi siano per il 99,99% vuoti è davvero un bene per tutti gli abitanti dell'Universo. Le particelle subatomiche di cui sono composti sono infatti estremamente concentrate, ovvero possiedono densità elevatissime.

La densità di un neutrone è di circa 10^{14} grammi su centimetro cubo (centomila miliardi di grammi ogni centimetro cubo!).

In altre parole, se l'atomo fosse pieno per tutto il suo volume, un centimetro cubo di materia peserebbe, sulla Terra, circa 100 miliardi di kg!

L'Universo stesso non sarebbe esistito. Se gli atomi sono praticamente vuoti, vuol dire che questa era la condizione migliore per sviluppare un Universo stabile per miliardi di anni.

Sebbene il modello classico planetario sia facilmente visualizzabile, l'atomo non è un sistema solare in miniatura e gli elettroni non sono particelle ben definite che ruotano intorno al nucleo.

La struttura di un atomo non si può visualizzare correttamente, perché totalmente diversa da qualsiasi situazione ed esperienza che noi uomini possiamo vivere e osservare (e il cervello non può immaginare qualcosa che non ha mai visto!).

Sebbene l'idea degli antichi greci fu concettualmente corretta, gli scienziati del diciannovesimo secolo hanno avuto forse un po' troppa fretta nel definire atomo questa entità, che è solo l'inizio dell'infinitamente piccolo, la parte più grande che racchiude un mondo di particelle davvero complesso e che negli ultimi anni, grazie a imponenti acceleratori, si sta riuscendo finalmente a scoprire.

Quanto è densa una nebulosa?

Molte nebulose oscure appaiono così dense da creare dei veri e propri buchi in cielo. Alcune grandi nebulose ad emissione, come la celebre M42 in Orione o la nebulosa Laguna nel Sagittario, con un telescopio e soprattutto in fotografia sembrano cortine impenetrabili di gas.

Anche in questo caso, l'apparenza inganna, e anche molto!

La densità del gas di ogni nebulosa è milioni di miliardi di volte inferiore alla densità dell'aria che stiamo respirando in questo momento.

Gli oggetti più densi sono le nebulose oscure. La densità può arrivare anche a 1 milione di molecole per centimetro cubo.

Le nebulose ad emissione, in conseguenza della minore quantità di gas (utilizzato per formare le stelle) e della temperatura elevata (un gas caldo si espande) hanno densità tipiche comprese tra 1000 e 10.000 atomi (non più molecole) per ogni centimetro cubo di spazio.

La densità di queste gigantesche nubi calde di gas è così bassa che se ci fossimo immersi probabilmente non noteremmo nulla, se non un debolissimo alone grigio in cielo simile alle nottate astronomiche estive afflitte da un'alta umidità.

Nessuna visione spettacolare, quindi. Il colore delle nebulose non si riesce a osservare a occhio nudo, neanche se vi siamo immersi. Il problema è tutto della sensibilità dei nostri occhi. Ben altro discorso per le macchine fotografiche. Grazie al tempo di esposizione regolabile a piacere, le nebulose sono gli oggetti celesti più colorati in assoluto.

Astronautica

Questa sezione è estratta dal libro: "Conoscere, capire, esplorare il Sistema Solare".

Siamo arrivati allo spazio dedicato agli amanti dell'esplorazione dello spazio.

L'astronautica, con le sue sfide tecnologiche, i pericoli, i

grandi e spettacolari risultati scientifici, è una disciplina che non può non interessare, al di là della passione per l'astronomia.

Grazie all'esplorazione del nostro Sistema Solare abbiamo imparato moltissime nozioni, anche per quanto riguarda il funzionamento e le proprietà del nostro delicato e prezioso pianeta, senza contare il salto tecnologico enorme compiuto grazie a dei sognatori che di fronte a difficoltà, spesso enormi, non si sono arresti e hanno sempre cercato di raggiungere le stelle.

L’esplorazione dei pianeti remoti

L’esplorazione di Saturno

Appena quattro sonde hanno raggiunto il magnifico pianeta con gli anelli e solamente una è entrata in orbita.

La prima immagine proveniente dalle vicinanze di Saturno è da attribuire a Pioneer 11, che dopo l’incontro con Giove il 1 settembre 1979 si è trovata a 20.000 km dal signore degli anelli l’anno seguente.

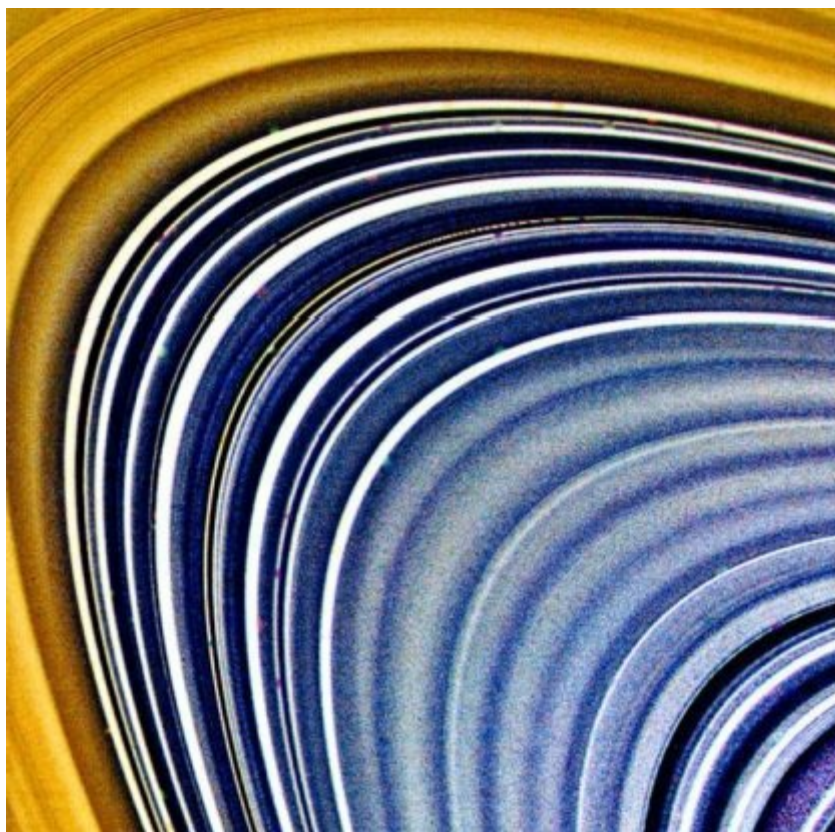
Sebbene sfocate e sgranate, come le riprese trasmesse dalle altre sonde di prima generazione, le immagini erano comunque più dettagliate di quelle effettuate da Terra con i grandi telescopi professionali e rivelarono un sistema di anelli e satelliti molto più complesso di quanto si credesse.

La prima immagine di Saturno mai ripresa dalle sue vicinanze. Pioneer 11, 26 agosto 1979, distanza 1,5 milioni di chilometri. In alto è visibile Titano.

Nel novembre 1980 è stata la volta di Voyager 1 a una distanza minima di 120.000 km. La sonda inviò a Terra immagini sorprendenti di un sistema di anelli assolutamente incredibile, con migliaia di strutture minori i cui confini erano sorvegliati da

piccoli satelliti che furono non a caso chiamati lune pastore. Ma la vera scoperta venne dal misterioso Titano. Impossibile da osservare in dettaglio con qualsiasi telescopio terrestre di quel periodo, nessuno scienziato si aspettava di scoprire un mondo così complesso come quello messo in evidenza dalle prime immagini ravvicinate di Voyager 1.

L'atmosfera del satellite fu rilevata già dalla superficie terrestre a partire da osservazioni spettroscopiche condotte da un certo Gerard Kuiper nel 1944, il padre dell'omonima fascia di corpi minori che tra qualche pagina analizzeremo in dettaglio. L'esistenza di un'atmosfera rendeva il satellite di per se unico, perché nessun'altro corpo celeste di questo tipo, neanche il più grande Ganimede, sembrava possedere un inviluppo gassoso consistente e stabile nel tempo. Ma nessuno poteva mai immaginare che a quelle enormi distanze dal Sole un satellite poco più grande della nostra Luna potesse ospitare un'atmosfera densa, con una dinamica così sviluppata e complessa come mostrato dalle riprese di Voyager 1. Ancora una volta l'Universo ama stupirci con situazioni che fino a poco tempo prima ritenevamo estremamente improbabili.

Voyager 2 seguì la gemella nell'agosto 1981 raccogliendo preziose informazioni sull'atmosfera di Saturno e sul sistema di satelliti e anelli. Tra le scoperte più misteriose vi sono delle striature scure irregolari a grande scala e variabili nel tempo dette spokes, che si sviluppavano ed evolvono nel complesso sistema di anelli.

Il complesso sistema di anelli di Saturno ripreso da Voyager 2. Le differenti tonalità indicano differenze nella composizione chimica delle particelle, per lo più ghiacciate, che compongono gli anelli.

Ci sono voluti ben 25 anni di attesa per vedere un'altra sonda nei pressi del pianeta che potesse contribuire a svelare i numerosi misteri evidenziati dalle due Voyager.

La pazienza degli astronomi è stata ripagata con un piano di volo assolutamente straordinario che prevedeva per la prima volta l'immissione in orbita e lo studio del pianeta e dei satelliti per diversi anni.

Cassini-Huygens, nata da una collaborazione tra NASA, ESA e ASI (Agenzia Spaziale Italiana) ha lasciato la Terra il 15 ottobre 1997, raggiungendo l'orbita di Saturno solamente il 1 luglio 2004, dopo un lungo e complesso viaggio durato quasi sette anni che l'ha portata ad avere fly-by con Venere, Luna, Terra e Giove.

Con strumentazione sicuramente molto più avanzata delle precedenti e un'alimentazione nucleare che le garantirà energia

per diversi anni, la sonda Cassini studierà il sistema saturniano almeno fino al 2017, quando verrà fatta precipitare nell'atmosfera del pianeta.

Il successo della missione è stato completo con il rilascio della piccola capsula Huygens il 25 dicembre 2004.

Progettato dall'agenzia spaziale europea e trasportato a bordo della sonda madre, questo mini satellite poco più grande di una palla da basket aveva un compito semplice quanto importante: tuffarsi nell'atmosfera di Titano e scoprire i segreti così gelosamente protetti dallo spesso involucro gassoso.

Dopo venti giorni di volo, il 14 gennaio 2005 finalmente l'ingresso in atmosfera e il momento della verità.

Le batterie della sonda avrebbero avuto autonomia per circa 3 ore, un tempo più che sufficiente per raccogliere molti dati durante la discesa e con un po' di fortuna a trasmettere per qualche minuto se avesse effettuato un atterraggio morbido.

Con molti interrogativi sull'esito della missione, la piccola capsula Huygens stupì tutti andando ben oltre le aspettative.

Durante la discesa durata circa 2 ore e 30 minuti, e frenata da alcuni paracadute, trasmise molti dati dei diversi livelli atmosferici di Titano, ottenendo anche fantastiche panoramiche della misteriosa superficie del satellite.

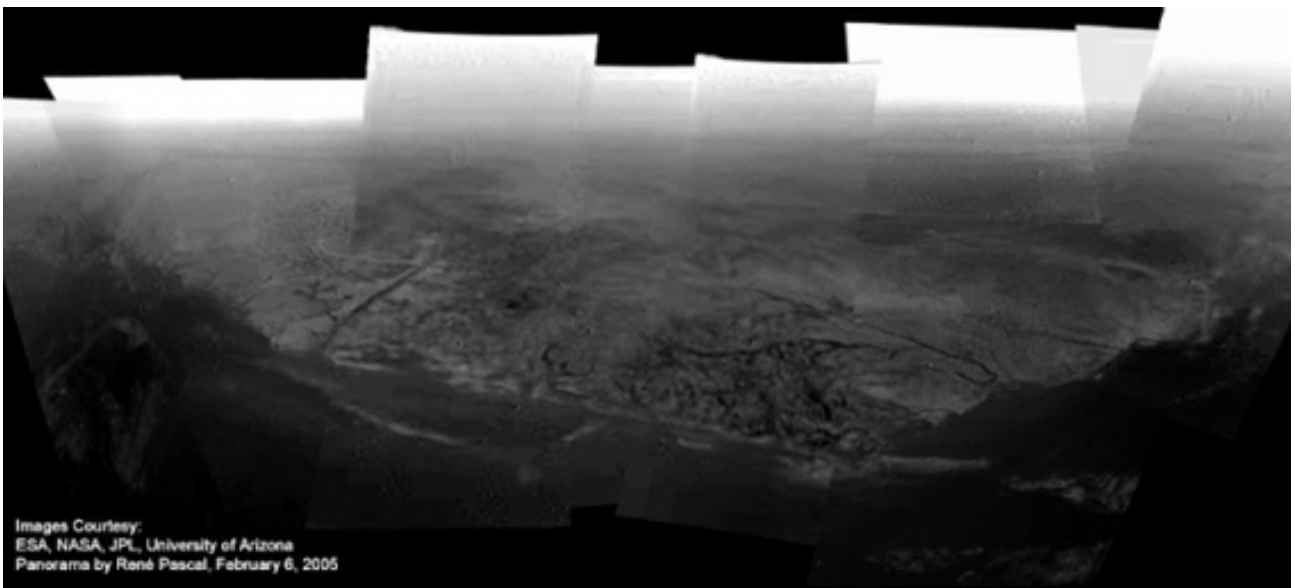
Un atterraggio morbido, nonostante non fosse dotata di alcun sistema di propulsione, permise alla piccola sonda di continuare a trasmettere a Terra immagini e dati per altri 90 minuti, ben oltre la durata programmata delle batterie.

Ad oggi Huygens resta il manufatto umano atterrato sul corpo celeste più lontano e l'unico ad averlo fatto su un satellite naturale di un altro pianeta.

Le informazioni trasmesse, integrate con quelle raccolte da

Cassini durante i successivi passaggi ravvicinati, hanno permesso di scoprire grandi sistemi nuvolosi composti di metano nell'atmosfera del satellite.

La sorpresa più grande è stata però scoprire una superficie ricca di laghi e fiumi di idrocarburi, principalmente metano, e addirittura mari e oceani con spiagge levigate dalle onde.

Un mondo davvero simile alla Terra, se non fosse per la differenza nella composizione del liquido che bagna la superficie.

Panorama della superficie di Titano ripreso dalla capsula Huygens pochi minuti prima di toccare il suolo. In primo piano, in basso, è visibile un bacino di metano, i contorni della costa e alcuni canali e fiumi che vi confluiscono.

Il futuro dell'esplorazione del sistema di Saturno è ancora incerto. Attualmente gli sforzi maggiori sono concentrati nello studiare una missione che possa atterrare di nuovo su Titano per continuare con più calma e migliore strumentazione le indagini appena iniziate dalla piccola capsula Huygens.

Sono allo studio diverse idee innovative in collaborazione tra NASA ed ESA, come un piccolo aereo che potrebbe volare nella bassa atmosfera e mapparne a fondo la superficie, oppure un rover simile a quelli che hanno raggiunto Marte negli anni

passati.

Qualunque sarà il progetto scelto, esso probabilmente vedrà la luce solamente dopo il 2020.

In effetti il decennio 2010-2020 non sembra particolarmente favorevole, almeno da parte della NASA, impegnata principalmente nella costosa realizzazione del nuovo telescopio spaziale dal costo davvero astronomico di 9 miliardi di dollari.

L’esplorazione di Urano e Nettuno

Non vi è molto da dire dal punto di vista cronologico, poiché solamente l’impavida Voyager 2 ha avuto l’onore di avvicinare i due lontani pianeti gassosi.

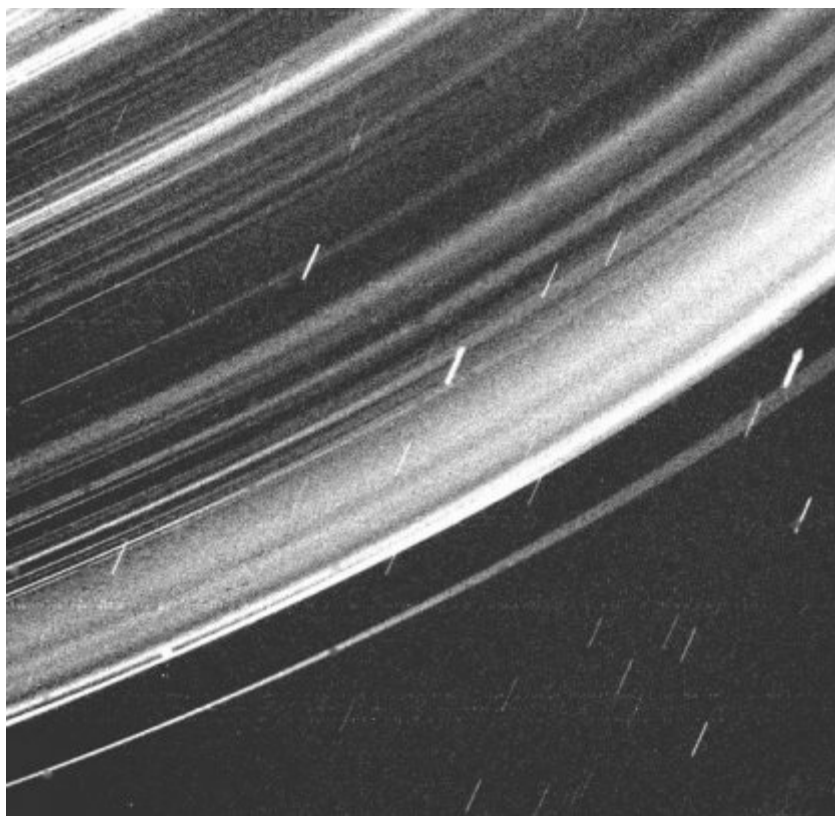
Di conseguenza, tutte le informazioni che possediamo dei due mondi, e della folta schiera di satelliti, derivano quasi unicamente dai dati raccolti da questa unica esploratrice cosmica.

Dopo l’incontro positivo con Giove e Saturno, e aver risolto qualche problema di funzionamento, i tecnici della NASA decisero di proseguire quello che era stato definito il gran tour del Sistema Solare.

Grazie a un particolare e molto raro allineamento planetario, sin dagli anni 60 Voyager 2 venne studiata per sfruttare questa preziosa coincidenza cosmica e visitare in un colpo solo tutti i giganti gassosi, evitando in questo modo insormontabili problemi di carburante.

La perfetta pianificazione della missione fece di Voyager 2 una sonda storica.

Con puntuale precisione passò alla minima distanza da Urano il 24 gennaio 1986 a 81.500 km, ben 5 anni dopo l’incontro con Saturno.

Di questo remoto pianeta scoprì diversi satelliti, studiò l’atmosfera e il sistema di anelli, rilevato indirettamente da Terra solamente 9 anni prima.

Dettaglio degli anelli di Urano ripresi da Voyager 2 durante il massimo avvicinamento al pianeta. Sullo sfondo le stelle risultano mosse a causa della lunga esposizione e del movimento della sonda.

La suggestiva falce di Urano ripresa da Voyager 2 in allontanamento verso Nettuno.

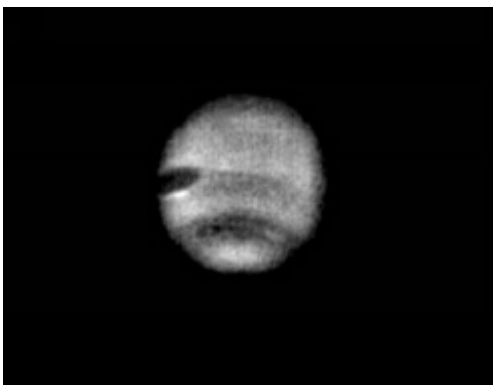
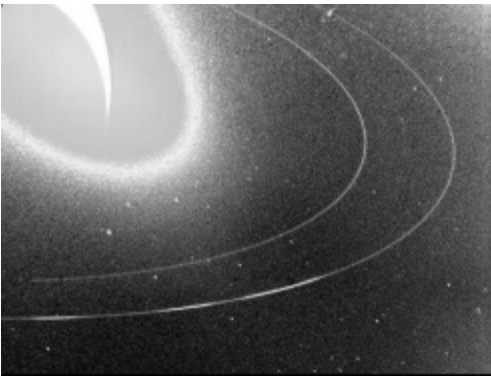
Il gran tour di Voyager 2 si completò nel migliore dei modi il 25 agosto 1989.

Il passaggio ravvicinato a Nettuno consentì di scoprire molti altri satelliti (se ne conoscevano solamente due fino a quel momento), di indagare meglio il particolare aspetto di Tritone, di scoprire un debole sistema di anelli intorno al pianeta e un’atmosfera davvero molto dinamica, con nubi di ammoniaca e una grande tempesta dal colore scuro, denominata grande macchia scura.

Il primato di Voyager 2 rimarrà sicuramente ineguagliato

almeno per i prossimi 30-50 anni.

Le uniche immagini dei pianeti provengono attualmente dai grandi telescopi terrestri e spaziali, che sebbene con molta fatica a causa della estrema lontananza, riescono a osservarne le principali strutture atmosferiche.

La grande macchia scura di Nettuno, ad esempio, non è stata più rilevata. Si presuppone, quindi, che fosse un fenomeno transiente molto diverso, quanto a dinamica e proprietà, rispetto alla grande macchia rossa di Giove. Chissà, magari si trattava di un evento molto più insolito come l'impatto di un grande asteroide? Oppure, come sembrano concordare molti astronomi, di un processo climatico simile al nostro buco nell'ozono? E se così fosse, di chi è la colpa se l'uomo, fortunatamente, non è ancora riuscito a inquinare questo remoto mondo? Quasi certamente del Sole, ma se non riusciremo più a osservare quest'insolita formazione, saranno molti i dubbi e pochissime le certezze.

La prima immagine di Nettuno ripresa da Voager 2 nell'estate del 1989, a 57 milioni di chilometri dal pianeta. Nessun telescopio di quegli anni poteva avere una visione così dettagliata. Questa quindi è la visione che gli scienziati della NASA ebbero per la prima volta di questo remoto pianeta. A sinistra è visibile la grande macchia scura, mai più osservata.

Il debole sistema di anelli di Nettuno è stato scoperto da Voyager 2 dopo essere stato teorizzato 5 anni prima. L'estrema debolezza ne aveva impedito qualsiasi rilevazione da Terra.

L’esplorazione di Plutone

Rimasto fuori dal grande tour di Voyager 2, e per di più declassato, Plutone è l’unico (ex) pianeta a non essere stato ancora visitato da una sonda.

Questo triste primato però è destinato a interrompersi presto, quando la missione New Horizons, partita il 2 gennaio 2006, lo raggiungerà nel 2015 in un fly-by che consentirà finalmente di scoprire i misteri di questo piccolo mondo.

Durante il lunghissimo tragitto la sonda viene mantenuta in uno stato di ibernazione per preservare l’integrità e la salute della strumentazione di bordo.

In prossimità dei pianeti gassosi è stata però svegliata per testare l’efficienza degli apparati scientifici e della camera digitale. Alcune immagini di Giove, riprese durante il fly-by, mostrano ottime potenzialità del sistema di ripresa.

Se le premesse sono queste, dobbiamo aspettarci che molti dei segreti di Plutone vengano finalmente svelati dopo oltre 80 anni dalla sua scoperta.

A una velocità di quasi 16 km/s la sonda è troppo veloce per entrare in orbita, quindi dopo un fugace incontro si proietterà verso la fascia di Kuiper e lo spazio profondo.

Gli scienziati della NASA sperano di aver la possibilità di avvicinare qualche altro corpo celeste, prima di farle seguire lo stesso destino delle gloriose Voyager e Pioneer, con l’augurio di una vita altrettanto lunga.

Attualità

In questa sezione finale vengono proposte notizie e riflessioni sui temi più attuali, spaziando dall'esplorazione di Marte alle galassie più lontane dell'Universo. A decidere gli argomenti è l'enorme progresso scientifico cui va incontro una disciplina attiva come l'astronomia. Scoperte piccole e grandi si susseguono a ritmi frenetici, sebbene gli astronomi in tutto il mondo rappresentino una piccola comunità che a mala pena raggiunge le 20 mila unità. Ma mai come in questo caso la determinazione può superare tutte le difficoltà della disciplina più impegnativa che esista.

La materia oscura

Quando osservate il cielo potete vedere pianeti, stelle, nebulose, ammassi e galassie, tutti intrinsecamente molto brillanti.

D’altra parte è possibile ammirare, anche a occhio nudo, zone di cielo a ridosso del disco della Via Lattea nelle quali sembrano mancare delle stelle. Queste zone non sono prive di stelle, ma semplicemente oscurate da gas e polveri molto fredde che non emettono alcun tipo di luce, da cui il nome di nebulose oscure.

Voi a questo punto potreste anche dubitare di questa affermazione fatta senza la minima prova, obiettando che non vi sono prove a favore di questa posizione. Bene, state imparando la base della scienza: mai fare affermazioni prive di fonti verificabili o di prove.

Purtroppo vado un po’ di fretta, quindi mi limito a suggerirvi solamente un metodo per scoprire se i “buchi” nel disco galattico sono dovuti all’opacità del mezzo o a una vera mancanza di astri: riprendete o cercate in internet immagini che ritraggono queste zone a diverse lunghezze d’onda, in particolare nel visibile e nell’infrarosso. Scoprirete che nel vicino e medio infrarosso le chiazze scure cominciano a riempirsi di deboli stelle, proprio perché questa lunghezza d’onda viene meno assorbita rispetto a quella visibile dalle polveri e dal gas lungo il cammino. Le stelle quindi ci sono, ma risultano oscurate da polveri e gas. Se non siete ancora convinti, provate a osservare immagini di altre galassie a spirale, sia quelle viste di faccia, che di profilo, notando come la diversa prospettiva influenza il numero di stelle visibili.

Bene, abbiamo appena appreso che non tutta la materia

esistente nella nostra galassia è visibile direttamente con gli strumenti di cui disponiamo.

Da questa semplice esperienza possiamo porci una domanda più generica e dalle profonde implicazioni: la materia che vediamo e possiamo vedere perché emette o riflette luce, è tutta la materia realmente esistente nell'Universo?

Dalla nostra precedente esperienza possiamo già dire che non tutta la materia emette luce, quindi ciò che vediamo è solo la parte "luminosa" di quella realmente presente nell'Universo.

Come facciamo però a osservare materia che non emette luce e dare una stima di quanta ce ne sia realmente? Nel caso precedente la possiamo osservare in modo indiretto: il gas freddo e opaco oscura la luce delle stelle poste prospetticamente dietro di esso. Ma se non ci sono abbastanza stelle da oscurare, come possiamo accorgerci se stiamo osservando una zona di cielo povera di astri, oppure ricca di grandi quantità di nebulose oscure?

Come si osserva la materia non visibile, detta anche materia oscura?

Gli astronomi ricorrono a un "trucco" abbastanza semplice da capire.

Sappiamo che ogni oggetto dotato di massa produce un campo gravitazionale. Se la visibilità di un oggetto dipende dalla luce emessa o meno, il campo gravitazionale prodotto esiste sempre ed è, in linea teorica, possibile da mettere in mostra attraverso l'analisi del moto degli oggetti che possiamo osservare.

Abbiamo trovato un modo per osservare la materia oscura: non si vede direttamente, ma sicuramente produce un campo gravitazionale che possiamo in qualche modo misurare attraverso gli effetti prodotti sulla materia visibile.

Come facciamo a capire che un corpo celeste visibile è perturbato dalla presenza di materia che non possiamo vedere, e come stimarne la distribuzione e la quantità?

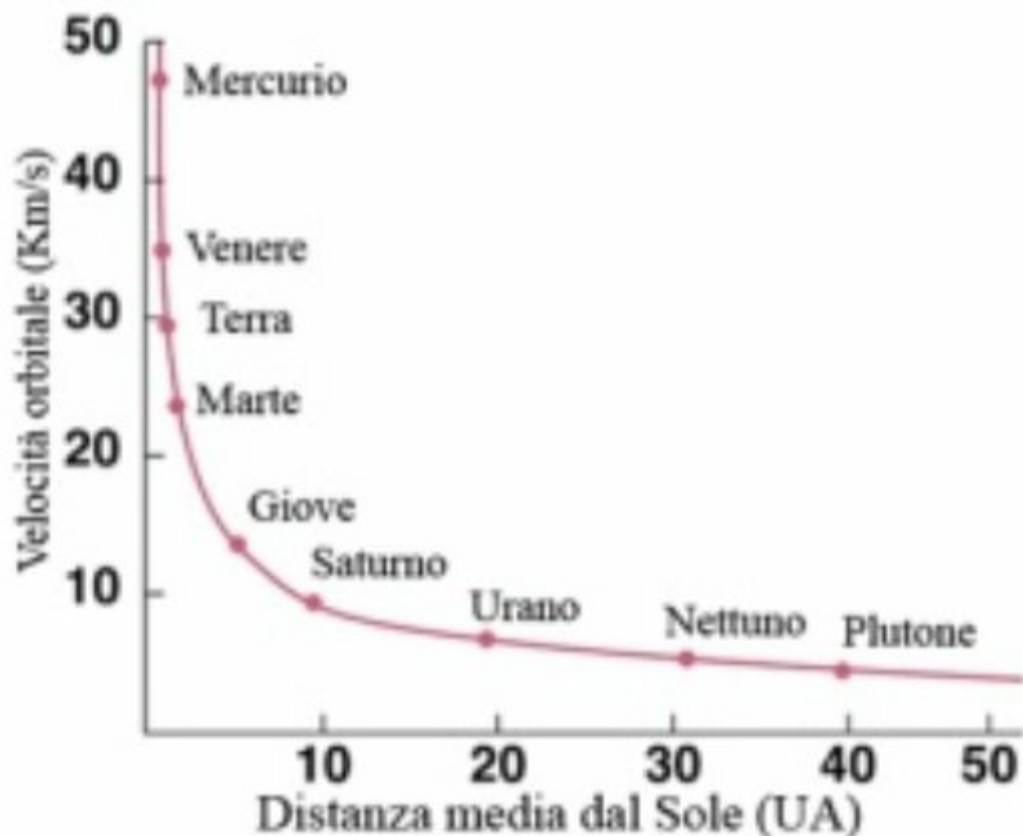
Tutto parte dall'analisi delle velocità orbitali delle stelle e delle galassie.

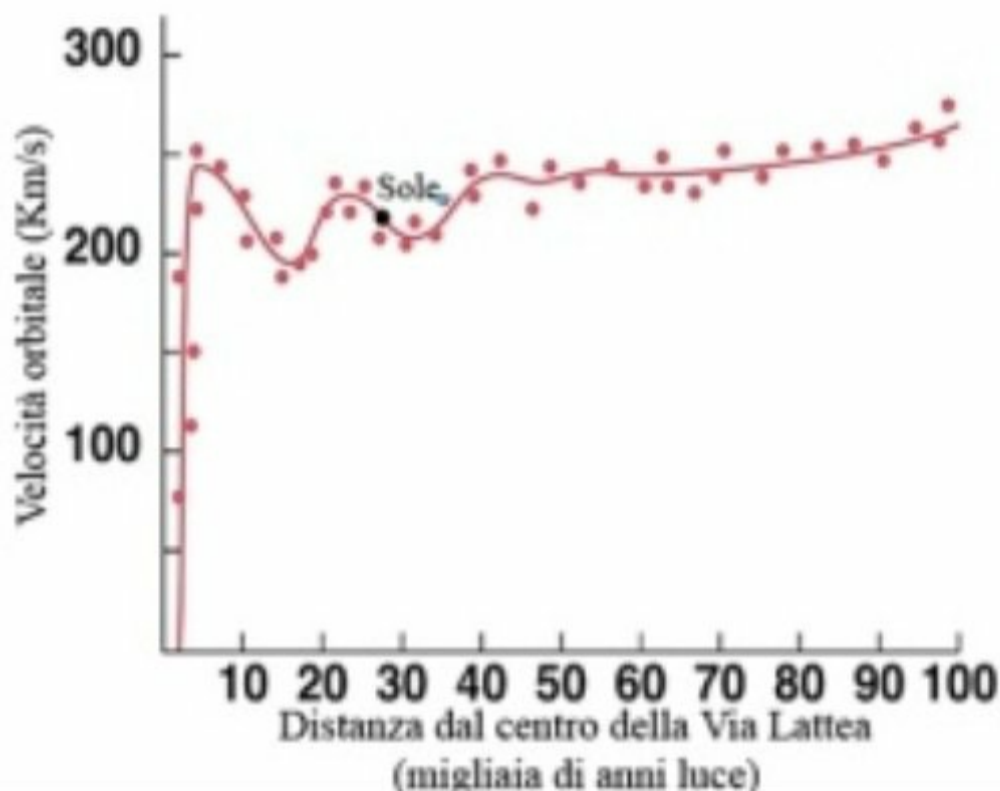
Keplero, quasi 400 anni fa, enunciò le sue famose leggi per i pianeti del sistema solare, giustificate a posteriori dalla teoria della gravitazione di Newton.

Egli notò che il cubo della distanza media alla quale orbitavano i pianeti era direttamente proporzionale al quadrato del loro periodo orbitale. In altre parole, un pianeta più lontano dal Sole impiega più tempo a percorrere la sua orbita rispetto a un corpo celeste più vicino.

Facendo uso di queste osservazioni, della legge di gravitazione universale e delle leggi della dinamica di Newton, possiamo affermare che la velocità orbitale di un corpo celeste dipende sicuramente dalla distanza dal centro di massa del sistema: maggiore è la distanza, minore sarà la velocità orbitale.

Quando consideriamo corpi celesti che orbitano secondo le condizioni dettate dalle leggi di Keplero, quindi attorno a un oggetto molto più massiccio con una simmetria sferica o approssimabile a una sfera, l'andamento della velocità in funzione della distanza dal centro di massa è detto kepleriano.

Le velocità kepleriane sono quindi velocità orbitali che diminuiscono con l'aumentare della distanza dal centro di massa. Se studiamo il comportamento delle velocità dei pianeti del sistema solare, possiamo avere un ottimo esempio di quanto appena detto. La figura seguente ci mostra la perfetta concordanza con le leggi di Keplero e della di dinamica newtoniana.

L'andamento delle velocità dei pianeti in funzione della distanza dal Sole è in accordo perfetto con le leggi di Keplero.

Le cose cominciano a non tornare più quando consideriamo il moto delle stelle nelle galassie, ellittiche e a spirale. Possiamo assimilare questi oggetti a dei giganteschi sistemi solari. Nel centro (bulge), di forma sferica, si trova gran parte della massa visibile, che si può assimilare al nostro Sole. Tutte le stelle nel disco galattico ruotano attorno al centro, con velocità che dovrebbero seguire il tipico andamento kepleriano che possiamo osservare nel sistema solare. Con molta sorpresa, la curva di velocità di ogni galassia mostra un andamento totalmente diverso, praticamente costante, soprattutto molto lontano da tutta la materia luminosa.

La curva di rotazione della Via Lattea non è di tipo kepleriano. Ci deve essere una grande quantità di materia, esterna al disco luminoso, che possa giustificare un simile andamento delle velocità orbitali.

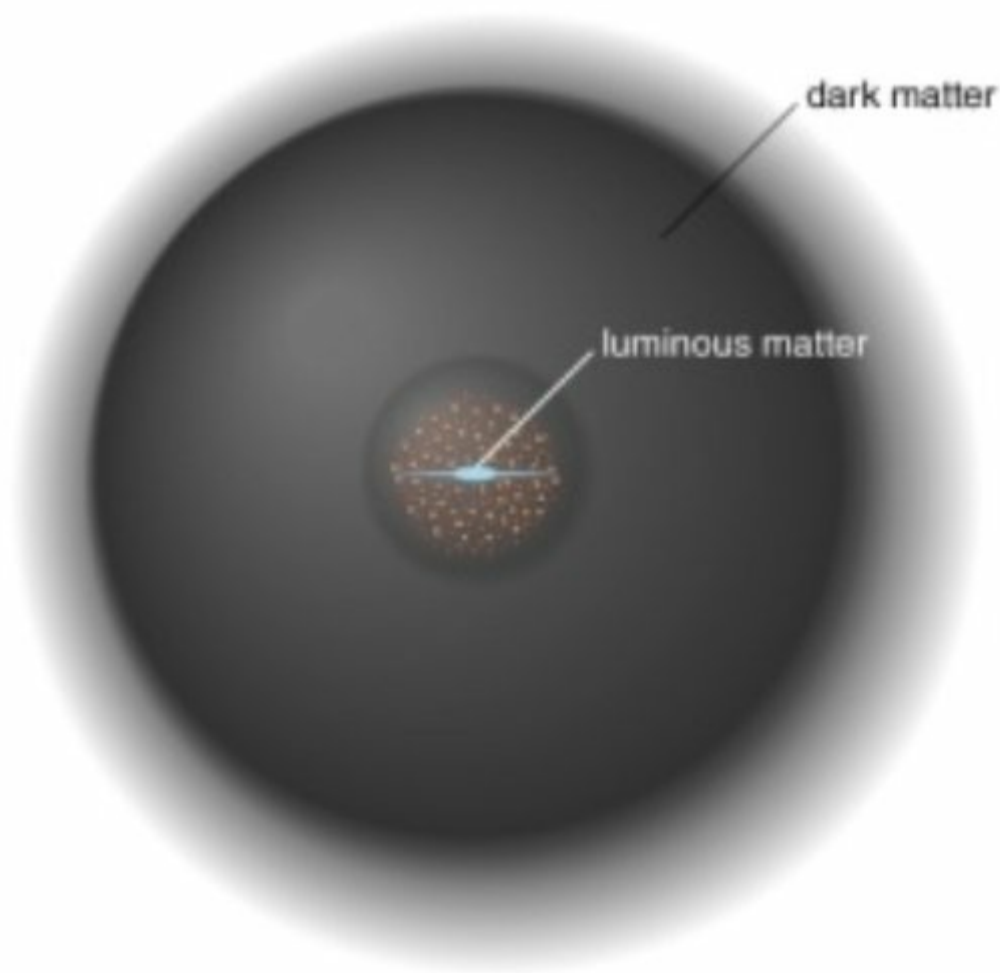
Come è possibile misurare la velocità di rotazione delle stelle di una galassia distante anche centinaia di milioni di anni luce?

Vi anticipo che il principio alla base è il già citato effetto doppler.

Se ammettiamo che le leggi di Newton siano corrette (ma qualcuno non concorda, come vedremo tra poco), questo comportamento si spiega solamente con il fatto che in ogni galassia, soprattutto nelle periferie, esiste una grande quantità di materia che non riusciamo a vedere, che genera la forza di gravità responsabile della grande velocità delle stelle e del suo particolare andamento che altrimenti non sono spiegabili dall'analisi della sola materia visibile.

Secondo questo schema, e analizzando il moto di centinaia di stelle poste a distanze diverse dal centro, è relativamente

semplice calcolare la quantità e la distribuzione di questa massa non visibile, detta materia oscura. Il dato è sorprendente: la materia oscura può costituire oltre il 90% della massa di una galassia. In altre parole, la materia luminosa, che riusciamo a osservare direttamente è meno del 10% di quella effettivamente presente.

La materia oscura ha delle proprietà particolari: non si osserva direttamente perché non emette alcuna radiazione elettromagnetica e si pensa possa essere costituita da particelle esotiche (neutrini), da piccoli e freddi corpi celesti (nane brune, buchi neri) e da una quantità di particelle sconosciute, la cosiddetta materia non barionica. Inoltre non interagisce con la materia luminosa, anzi, si trova sempre nelle periferie di galassie e ammassi di galassie, nel cosiddetto alone, dove la concentrazione di massa visibile è trascurabile.

Distribuzione della materia oscura in una tipica galassia a spirale. La quantità presente è circa 10 volte superiore a quella della materia visibile.

L'unico modo per "osservare" la materia oscura è attraverso l'analisi dei disturbi gravitazionali indotti su quella visibile, come la curva di rotazione delle galassie a spirale, oppure l'analisi del moto di alcune galassie all'interno di grandi ammassi di galassie.

In questi casi, se le componenti obbedissero solamente alla massa visibile, dovrebbero possedere velocità superiori a quelle di fuga, ma sono in evidente interazione gravitazionale da milioni, se non miliardi, di anni.

È chiaro, quindi, che la massa misurabile non può giustificare ciò che possiamo rilevare; l'ipotesi più plausibile è che in realtà

debba esistere una quantità di materia nettamente superiore del tutto invisibile.

Ammettendo, quindi, l'esistenza di questa enorme quantità di materia, tutti i dati osservativi sulla velocità di rotazione di stelle e galassie (l'unico dato osservativo e reale) finalmente possono essere giustificati da questo modello, che però non trova tutti d'accordo…

Cosa succederebbe se invece di teorizzare l'esistenza della materia oscura, fossero inesatte le basi? Ovvero, e se la legge di gravitazione di Newton non valga sotto certe condizioni estreme?

Un modello alternativo: l'ipotesi MOND

L'ipotesi della materia oscura è sicuramente la più accettata dalla comunità scientifica, ma non è certo perfetta e non è l'unica teoria che cerca di spiegare il solo fatto sperimentale e inconfutabile che abbiamo: la curva di rotazione piatta delle galassie.

L'astrofisico israeliano Mordehai Milgrom, nel 1981, propose una spiegazione alternativa, il cui principio base è molto semplice da comprendere: cosa succederebbe se la seconda legge di Newton $F = ma$ fosse approssimata e valesse solamente quando le accelerazioni in gioco sono elevate?

La seconda legge di Newton è alla base delle leggi sulla gravitazione e attraverso di essa si descrive praticamente tutto il comportamento dell'Universo. La sua formulazione è stata fatta da Newton osservando fenomeni terrestri, che non potevano coprire tutto l'intervallo di possibili situazioni dell'intero Universo.

Sembra infatti paradossale, ma le accelerazioni a cui sono sottoposte le stelle nelle galassie sono molto più basse di quelle che normalmente sperimentiamo sulla Terra, ma anche nel sistema solare, alla base della formulazione e della successiva convalida della legge di Newton.

Faticate a credere al fatto che dei veri e propri mostri del cielo siano sottoposti ad accelerazioni miliardi di volte inferiori a quelle di un'automobile che parte? Fate bene, bisogna sempre fornire delle prove oggettive alle proprie affermazioni; fino a quel momento bisogna dubitare di ogni ipotesi, soprattutto di quelle più bizzarre come questa!

Se il vostro interlocutore è una persona seria e onesta, non

faticherà a darvi le prove di quanto affermato, prove che potete (e dovete) verificare per vedere se portano alle stesse conclusioni.

Poiché ogni affermazione, soprattutto se contro-intuitiva, ha bisogno di essere provata per venire accettata, vi dimostro con un semplice calcolo che le accelerazioni delle stelle nelle galassie sono piccolissime.

L'accelerazione a cui è sottoposto il sistema solare nella sua rivoluzione attorno al centro galattico è, come in tutti i moti circolari, di tipo centripeto, la cui intensità è data dalla semplice relazione: $a = v^2/r$. Il Sole dista dal centro 26.000 anni luce e orbita a una velocità di circa 200 km/s. Dopo aver reso omogenee le unità di misura e averle inserite nella formula, otteniamo un'accelerazione centripeta pari a: $1{,}6 \cdot 10^{-10}$ m/s^2, un valore bassissimo, soprattutto se confrontato con le accelerazioni alle quali siamo abituati nelle normali situazioni (un'auto che va da zero a cento in 20 secondi – piuttosto lenta – ha un'accelerazione media di $1{,}6$ m/s^2) o con la stessa accelerazione di gravità terrestre, pari a $9{,}81$ m/s^2. Ecco provata la mia precedente (e sorprendente) affermazione!

Benché le galassie siano dei mostri dalle dimensioni e massa enormi, le accelerazioni a cui sono sottoposte le stelle, soprattutto quelle nelle periferie, sono tra le più basse che esistano nell'Universo, impossibili da studiare sulla Terra vista la presenza dell'accelerazione gravitazionale e delle forze di attrito che generano accelerazioni miliardi di volte più intense (proprio questa difficoltà ha reso estremamente complicata la determinazione della costante gravitazionale introdotta da Newton nella sua legge della gravitazione universale).

Potrebbe allora non essere un caso che nei pressi dei centri galattici, dove le accelerazioni sono elevate, il moto delle stelle

sia di tipo kepleriano. È possibile che per piccolissime accelerazioni la legge di Newtonnon sia più valida? È possibile che la forma F = ma valga solamente in certe situazioni e sia il caso particolare di una più generale teoria?

L'approccio è totalmente diverso rispetto all'ipotesi della materia oscura, che considera esatta e non discutibile la seconda legge di Newton. In quei casi, la teoria si concentra quindi nella ricerca di nuove ipotesi, come quella di materia mancante, per sviluppare un modello che si adatti alle osservazioni.

La teoria MOND (MOdified Newtonian Dynamics) afferma che non c'è bisogno di introdurre una notevole quantità di massa, di cui si ignora completamente la natura e le proprietà, ma che è necessario mettere in discussione la teoria alla base.

Sotto questo assunto, dobbiamo sviluppare una nuova seconda legge di Newton che si adatti sia al moto delle stelle nelle galassie, che al moto degli oggetti di tutti i giorni, compresi quelli del sistema solare.

Il discriminante tra queste due situazioni è determinato solamente l'intensità dell'accelerazione; in altre parole, la nuova legge di Newton deve tendere alla classica per elevate accelerazioni e divergere solamente per basse intensità, in un modo tale da prevedere alla perfezione il moto osservato delle stelle e del gas nelle galassie a spirale e il moto delle galassie stesse all'interno degli ammassi.

La legge F = ma si trasforma nella formula:

$F = m\mu(a/a_0)a$ dove μ è una funzione non meglio definita, ma non importante per capire l'andamento della legge.

Il valore di μ fa si che la funzione $\mu(a/a_0)$ tende a uno se il rapporto tra l'accelerazione e a_0 è elevato, quindi per grandi accelerazioni, mentre tende a essere trascurabile quando le

accelerazioni sono piccole, cioè quando (a/a_0) è molto minore di 1. a è l'accelerazione (centripeta) dell'oggetto considerato, a_0 è una costante pari a circa 10^{-10} m/s^2, che fa da confine tra il regime classico newtoniano e il regime MOND. Infatti, come abbiamo già accennato, se a è molto maggiore di a_0 la relazione tende alla formula classica.

Secondo questa assunzione, anche la legge di gravitazione universale deve essere modificata, così come la relazione che la lega alla velocità orbitale.

Nel caso di un oggetto che orbita intorno a un centro di massa (M), la velocità orbitale, nel regime MOND, è data da:

$v = \sqrt[4]{(GM\, a_0)}$.

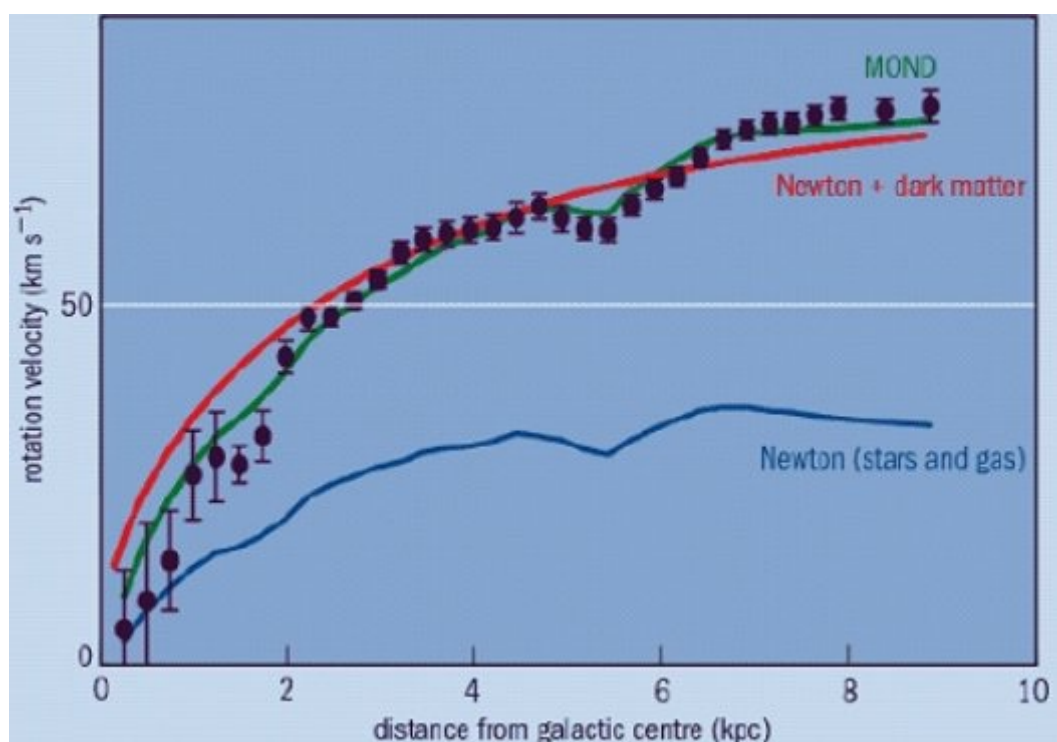
La velocità orbitale non dipende più dalla distanza dal centro, ma è una costante che dipende dalla costante di gravitazione universale, dal valore di a_0 e dalla massa attorno alla quale orbita la stella.

Una curva di luce fatta secondo questo andamento è praticamente piatta per grandi distanze dal centro galattico.

Se assumiamo valida la legge di Newton, otteniamo la curva già vista data dalla relazione: $v = \sqrt{(GM/r)}$, una curva che decresce con l'aumentare della distanza dal centro, secondo il classico andamento Kepleriano.

Il modello MOND ha il pregio della semplicità, non richiedendo la teorizzazione di ingenti quantità di materia oscura di natura imprecisata, ma non è comunque definitivo.

Matematicamente la teoria MOND è consistente non presentando errori di forma; solo le osservazioni successive potranno dire se è esatta anche fisicamente, cioè se il modello matematico si adatta alla realtà dell'Universo.

Entrambe le teorie, quella MOND e CDM (Cold Dark Matter, materia oscura fredda) restano, appunto, teorie, non ancora totalmente supportate o confutate dalle osservazioni. Entrambe hanno pregi e difetti, ma nessuna è totalmente giusta, sebbene la CDM sembri godere di maggiore attenzione e considerazione.

Previsioni dei modelli attualmente disponibili per spiegare la curva di rotazione delle galassie a spirale. L'ipotesi MOND è molto valida per spiegare la curva piatta delle velocità, ma ha problemi nello spiegare altri fenomeni, compatibili con la teoria della materia oscura.

La teoria MOND è allo stato attuale un modello matematicamente corretto, ma fisicamente non verificato. Le ultime osservazioni confermano che qualora fosse corretta la teoria non è autosufficiente e richiede ancora una quantità di materia non visibile.

Sotto questo scenario, il modello della materia oscura può considerarsi corretto, almeno concettualmente. Le prossime sfide saranno quelle di capire se vi è un contributo dato dalla MOND e

quale sia l'origine della materia oscura, composta in gran parte da particelle esotiche che non sono mai state osservate ma solamente teorizzate (e non sono neanche previste dal modello standard!).

Nel prossimo volume

Neofiti: Osservare il profondo cielo

Costellazioni: Drago e Triangolo

Astrofotografia: Imaging deep-sky: pillole di elaborazione

Ricerca: Scoprire nuovi oggetti e fenomeni

Astrofisica: Buchi neri e quasar

Astronautica: L'esplorazione di asteroidi e comete

Attualità: Siamo soli nell'Universo?

Per consigli, critiche, suggerimenti o per inviare materiale (immagini, articoli) scrivetemi a info@danielegasparri.com

Per vedere tutti i miei libri, elettronici e cartacei cliccare qui

Se vi siete persi gli altri volumi di astronomia per tutti, li trovate qui